This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

UC-NRLF
$B 75 388

Agric Chem & Soils

REESE LIBRARY

OF THE

UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Received May, 1891

Accessions No. 43770 Shelf No.

RECHERCHES

SUR LES

FORMES NATURELLES DE L'HUMUS

ET LEUR INFLUENCE

SUR LA VÉGÉTATION ET LE SOL

NANCY. — IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET Cie.

RECHERCHES

SUR LES

FORMES NATURELLES DE L'HUMUS

ET LEUR INFLUENCE

SUR LA VÉGÉTATION ET LE SOL

PAR

Le Dr P. E. MULLER

TRADUIT DE L'ALLEMAND PAR M. HENRY GRANDEAU

DOCTEUR ÈS SCIENCES
CHEF DES TRAVAUX AGRONOMIQUES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE NANCY
SOUS-DIRECTEUR DE LA STATION AGRONOMIQUE DE L'EST

Extrait des *Annales de la Science agronomique française et étrangère*
Tome I, 1889.

CALIFORNIA.

NANCY
IMPRIMERIE BERGER-LEVRAULT ET Cie
11, rue Jean-Lamour, 11

1889

43770

ITY
IFORNIA.

PRÉFACE.

La première édition des présentes Études[1], écrite en langue danoise, ne pouvait être appréciée que par un cercle trop restreint de lecteurs, limité aux naturalistes et aux forestiers danois. L'exposition devait donc être faite de manière à traiter principalement des conditions naturelles du Danemark et en même temps de façon à ce que les quelques nouveaux principes se rapportant à la science, que les Études contenaient, ressortissent sous une forme telle qu'ils devinssent, comme je le désirais, utiles à mes compatriotes, en dehors du cercle des savants. Les principes fondamentaux qui sont la conséquence de ces recherches, n'en ont pas moins pénétré dans la littérature des autres pays, en partie par une traduction allemande d'un résumé emprunté à une revue scandinave, et en partie par des rapports bienveillants. En même temps, les territoires sur les-

1. L'édition danoise existe en deux mémoires qui, sous le titre commun : *Studier over Skovjord, som Bidrag til Skovdyrkningens Theorie,* ont été publiés dans la revue forestière danoise « *Tidsskrift for Skovbrug* », T. III 1879 et T. VII 1884. Le premier de ces mémoires porte le titre spécial : « *Om Bögemuld og Bögemor paa Sand og Ler* », la seconde : « *Om muld og Mor i Egeskove og paa Heder* ». A chacun d'eux est joint un chapitre analytique de C. F. A. Tuxen, professeur de culture du sol à l'École supérieure d'agriculture de Copenhague.

quels ces observations ont porté de préférence, sont devenus, dans ces dernières années beaucoup plus qu'autrefois, l'objet de recherches et ont acquis une certaine popularité, après qu'un nom aussi célèbre que celui de Ch. Darwin eut été mêlé à une des circonstances principales de ces recherches. Aussi est-il arrivé que ces études ont été citées plus souvent maintenant dans la littérature étrangère, particulièrement dans la littérature allemande.

Cette circonstance m'a engagé à publier une traduction allemande et de répondre ainsi à l'intérêt amical qui, en dépit des difficultés de la langue, a accueilli ces recherches de différents côtés.

C'est d'ailleurs un inconvénient difficile à éviter que deux des plus grands mémoires, écrits dans une langue aussi peu répandue que la langue danoise, ne puissent être portés à la connaissance des forestiers étrangers que par des rapports qui doivent toujours paraître insuffisants à l'auteur, s'ils ne sont qu'un résumé de l'exposition détaillée de son œuvre. C'est pourquoi les forestiers étrangers qui ont utilisé mes recherches et les ont citées, ont commis plus d'une méprise et ont négligé des points importants : ils ont commis parfois des fautes si fortes, qu'ils ont donné au lecteur une représentation tout à fait inexacte des « Études » et de leurs résultats. J'ai espéré remédier à cet état de choses peu satisfaisant par la publication de l'édition allemande. C'est pourquoi je me suis déterminé, dans le choix de la forme à donner à l'ouvrage, à faire une simple traduction de l'original danois. A la vérité je redoutais un peu que le lecteur étranger pût être lassé par le coloris local resté à ce travail, ce qui aurait pu être évité par un remaniement complet exécuté par des lecteurs étrangers ou la science technique cosmopolite. Mais un tel remaniement eût donné à penser qu'in-

fluencé par les travaux faits plus tard sur ce sujet par des forestiers étrangers, j'avais entrepris de perfectionner l'œuvre originale : ce qui n'a jamais été en aucune façon dans mes vues.

On me pardonnera, je l'espère, de n'avoir entrepris aucune espèce de remaniement pour les raisons données plus haut, d'autant plus que, certainement, la véritable recherche dont le principe est l'observation pure et simple des phénomènes, reçoit une empreinte locale par la limitation inévitable des observations. L'édition allemande est donc une traduction littérale de l'édition danoise, à l'exception d'une note ajoutée page 117 et de l'appendice, ainsi que des citations d'un vieil auteur danois, qui, ne pouvant à peine être comprises des étrangers, ont été abrégées; enfin la préface de l'édition danoise de 1878 a été placée en tête comme introduction à l'œuvre complète. Les figures et les tableaux sont les mêmes que dans l'édition originale; seul, un tableau de l'original danois, représentant les proportions d'humidité du sol des landes, a été supprimé.

La traduction a présenté sur un seul point quelques difficultés. Pour désigner les différentes formes de l'humus, on se servait de deux expressions danoises populaires, dont la traduction littérale est impossible en allemand.

Dans la présente édition, elles sont remplacées par des mots allemands, dont la signification propre diffère assurément un peu de celle qu'on leur attribue ici. Je dois donc, en ma qualité d'étranger, réclamer l'indulgence pour les libertés de langage que je me suis permises, et qui pourtant étaient exigées par la nécessité.

Afin de faciliter l'usage des tables construites en partie d'après des mesures danoises, j'ai jugé bon de conserver dans la tra-

duction les mesures de longueur employées dans l'original, et j'ajoute que le pied danois (12 pouces) est le même que la mesure usitée en Prusse et dans les provinces rhénanes, c'est-à-dire égal à 313^{mm},85.

Copenhague, avril 1887.

L'Auteur.

RECHERCHES

SUR LES

FORMES NATURELLES DE L'HUMUS

ET LEUR INFLUENCE

SUR LA VÉGÉTATION ET LE SOL

INTRODUCTION

Lorsqu'on étudie l'état naturel de nos essences forestières dans leur zone de croissance, on rencontre des difficultés considérables pour établir leur répartition dans le terrain, suivant un rapport direct avec les propriétés chimiques du sol, ainsi qu'on l'admet ordinairement. Les plantes calcicoles, silicicoles et à potasse, etc., se trouvent les unes à côté des autres, sans que la main de l'homme en soit la cause, et l'origine géognostique du sol peut être aussi différente que possible, sans qu'une des essences principales de la forêt en soit exclue pour cela. Ainsi le hêtre, considéré d'ordinaire comme un type de plante calcicole, n'existe pas seulement sur les formations calcaires des Alpes, du massif du Jura et des couches marneuses du Nord de la France, du plateau crétacé de Normandie et des sols marneux du Danemark, mais il se développe aussi magnifiquement sur les massifs granitiques des Vosges, les formations arénacées de cette chaîne de montagnes et des monts du Weser. Il émigre avec une grande facilité vers les sols sableux, maigres et pauvres en chaux, qui recouvrent les étendues si considérables des grandes plaines environnant la mer Baltique. On peut faire des ob-

servations tout à fait semblables relativement à la présence du pin commun, considéré comme plante silicicole, et de la plupart de nos essences qu'on rencontre sur tous les sols.

Mais il paraît tout aussi difficile de décider quelle formation géognostique peut être considérée comme la patrie d'un arbre, en tant qu'il s'agit de nos essences ordinaires, de dire sur quel sol il se développe naturellement en toute plénitude et avec toute sa vigueur. Car, sur presque tous les sols, on peut observer une croissance parfaite aussi bien qu'un développement mauvais et maladif de la même essence. Si l'on élimine de toute la série de pareilles observations, les cas qui peuvent s'expliquer par une inégalité de climat, des différences dans la profondeur du sol et l'éloignement de la nappe d'eau souterraine, il reste encore certains cas où la même essence se développe d'une façon absolument différente sur la même formation géognostique. Quand on fait abstraction de tels peuplements qui croissent sur les diverses sortes de formations, particulièrement maigres et pauvres en éléments nutritifs, aussi bien que de ceux qui, par suite d'un mauvais traitement, ont souffert, dans le sens agricole du mot, d'un appauvrissement du sol, on n'arrive cependant pas à avoir une explication entièrement claire des différences dans le développement de ces peuplements. Une étude attentive de ces conditions démontrera pourtant qu'il existe une similitude évidente et extraordinaire de l'état physique du sol sur tous les emplacements qui portent une végétation luxuriante. De même, pour les sols sur lesquels se trouvent de mauvais peuplements, il existe une concordance évidente, par rapport aux propriétés physiques, entre les sols de nature la plus différente, si l'on fait abstraction des observations dans lesquelles les rapports de croissance s'expliquent par des causes analogues à celles mentionnées plus haut.

Ces observations faites à l'origine, au cours de voyages entrepris par l'auteur dans les forêts de l'Europe centrale et, plus tard, dans les forêts danoises, ont attiré son attention sur l'état physique du sol, comme facteur essentiel de la fertilité du sol forestier. Il semble que ce point mérite d'autant plus d'être étudié que, jusqu'à présent, peu d'attention a été accordée à cette question par les auteurs qui ont contribué à la théorie de la sylviculture. De plus, l'application

à la sylviculture des résultats et des méthodes expérimentales de la chimie agricole dépend de la compréhension juste de la différence entre ces deux formes de culture provenant d'un état physique différent du sol qui, en agriculture, est préparé par un travail continu et, en sylviculture, ne reçoit aucune préparation. Il n'a jamais été fait de recherche qui mette en évidence l'importance de cette différence.

Pour l'étude des propriétés physiques du sol forestier, l'auteur a jugé nécessaire d'employer d'autres moyens que ceux dont on se sert ordinairement pour les recherches sur le sol, c'est-à-dire les méthodes d'analyse chimique et les expériences physiques. Le sol forestier a été préparé de la même façon que pour des recherches sur les conditions de structure d'un organisme et on s'est servi pour cela des mêmes moyens de dissection et des procédés microscopiques. Les parties séparées du sol ont été examinées en place, dans leurs circonstances de gisement naturelles et l'analyse chimique n'a été appelée à l'aide que pour expliquer, quand c'était possible, les conditions pour lesquelles l'œil ne pouvait donner aucun éclaircissement.

On n'aurait sans doute pas pu employer avec succès un pareil procédé pour les études sur la terre arable, où le défrichement et le labourage, l'essartage et le roulage, la fumure et le marnage, etc., peuvent avoir détruit de diverses façons la structure primitive du sol. En forêt, au contraire, où le sol n'a jamais été soumis à l'action de facteurs autres que ceux que la nature elle-même met en action, on est en droit d'espérer, si le matériel d'études a été choisi avec soin, de pouvoir, par les procédés indiqués plus haut, jeter un coup d'œil sur la connexion organique des phénomènes.

Au premier abord, il peut sembler déraisonnable de vouloir étudier, comme un tout organisé et homogène, un mélange aussi complexe que celui des sols d'alluvion. Combien de forces multiples et variées ne sont-elles pas entrées en mouvement, pour transformer la matière qui, déjà à son origine, était formée d'un agrégat varié ! On pourrait croire que la puissante influence de la végétation, le travail incessant des organismes animaux, l'œuvre ininterrompue de métamorphose des phénomènes physiques et chimiques, tout cela

réuni devait donner naissance à un produit si varié qu'il ne pouvait pas être question de trouver là l'image d'un champ ordonné avec des caractères bien définis. Mais l'étude montre que du conflit des actions multiples ne sont pas sortis des états chaotiques, mais des formes déterminées, si bien que l'on arrive à distinguer des types variés du sol forestier qui n'a subi aucun changement, considéré comme un ensemble organisé. Comme partout, dans la nature, les types n'ont aucune délimitation bien tracée, ils passent de l'un à l'autre, mais ils peuvent pourtant être considérés et caractérisés par des traits essentiels.

La série des présentes études n'est pas un travail scientifique, dans le sens étroit du mot, mais doit être avant tout envisagée comme une étude pratique présentée sous une forme populaire de vulgarisation avec l'assistance de la science. Elle n'aurait pu être conduite d'après le plan suivant lequel l'auteur voulait poursuivre ses recherches, sans l'excellent concours que le professeur Tuxen lui a prêté par ses analyses habiles et exécutées avec le plus grand soin.

I

Sur les formes d'humus des forêts de hêtres sur le sable et sur l'argile (1878).

Lorsqu'on étudie les couches supérieures du sol forestier, on est conduit à les séparer et à les grouper d'après les phénomènes analogues ou très différents qui les caractérisent essentiellement. Comme dans toute classification, il faut commencer à chercher des types bien nets qui représentent un petit nombre de formes dominantes à caractères bien déterminés.

Parmi les formes variées qu'on rencontre dans le sol des forêts de hêtres, j'en ai étudié particulièrement deux dont le caractère, l'origine et la signification pratique, si différents les uns des autres, établissent entre elles une démarcation bien tranchée. Les distinctions relatives aux couches superficielles des forêts de hêtres me semblent devoir être facilement groupées autour de ces deux types.

Je commencerai par étudier à fond ces deux formes d'humus, j'étendrai ensuite cette étude à quelques-unes des formes qui en sont voisines et je terminerai par des vues théoriques et pratiques sur les faits qui découlent de ces observations.

Une classification exige une nomenclature. Le naturaliste suédois de Post a déjà proposé différentes désignations pour les dépôts à restes organiques qui recouvrent le sol situé au-dessous des eaux douces : mais on désigne jusqu'ici uniformément, sous le nom d'humus, les accumulations qui existent à la surface des terrains secs. Mais, lorsqu'on veut distinguer essentiellement quelques espèces d'humus, ce qui paraît désirable, il est bon d'adopter des dénominations simples, abréviatives, et je propose de donner aux deux types principaux des dépôts humiques des forêts de hêtres, les noms de *Mull* (terreau) et de *Torf* (tourbe).

On ne peut naturellement donner une explication précise de ces dénominations avant d'avoir établi par une étude poussée assez loin la caractéristique (diagnose) de chacun de ces dépôts.

A titre de renseignement général, je ferai tout de suite observer que j'ai nommé « Mull » (terreau) la forme qui se rapproche le plus des variétés de mélanges humiques qu'on rencontre dans les sols arables et dans les jardins, tandis que je désigne par le mot « tourbe » la forme, qu'on ne saurait confondre avec la première, qui est due au travail longtemps prolongé du sol sans aucune culture. Le terme tourbe ne désigne pas seulement les amas de restes végétaux accumulés dans les tourbières et dans les lieux humides, mais aussi la couche supérieure qu'on rencontre dans les terrains secs, couche humique, tenace, sur laquelle on rencontre certaines plantes spéciales (bruyères, herbes, etc.). J'ai étendu à ces terres la dénomination de tourbe. L'expression allemande *kohliger Humus* (humus charbonneux) serait, d'après l'emploi qu'en font la plupart des auteurs[1], à peu près synonyme du mot tourbe, tandis que le nom *milder Humus* (humus doux) correspondrait à peu près au terme *Mull* (en danois *muld*).

---

1. Par exemple Ebermayer; Senft, par contre, pas. Voyez Ebermayer, *Lehre der Waldstreu* (Leçons sur la couverture des forêts), 1876, p. 210.

OBSERVATIONS

Terreau de hêtre (*Buchenmull*).

Plantes caractéristiques. — On sait que la flore forestière est composée de plantes phanérogames assez différentes et de caractères divers suivant les conditions où se trouve la forêt. D'ordinaire la nature de la flore est en relation étroite avec l'état plus ou moins ombreux et avec la teneur en principes nutritifs des débris qui constituent la couverture. Ces circonstances jouent sans doute un rôle essentiel dans la composition de la végétation qui doit vivre sur le couvert, mais il semble être demeuré inaperçu que le mode et la nature de la décomposition des restes organiques sur le sol forestier impriment leur cachet à la végétation du sol, favorisant le développement de certaines espèces, entravant celui de certaines autres.

L'aspérule odorante (*Asperula odorata*) est tout particulièrement caractéristique pour le terreau de hêtre; à côté d'elle on rencontre une série de plantes bien connues parmi lesquelles je citerai les *Mercurialis perennis, Milium effusum, Melica uniflora, Stellaria nemorum,* fréquemment aussi l'*Oxalis acetosella,* l'anémone des bois (*Anemone nemorosa*), etc.

Sur le terreau bien caractérisé, ou bien il ne vient jamais de mousses, ou l'on n'y rencontre que quelques petites touffes isolées de *Polytrichum formosum* (Hdw.). Cette végétation d'aspérule, si l'on pouvait lui donner ce nom, se développe avec toute son intensité dans les forêts de hêtres fertiles; elle subit, à la vérité, d'importantes modifications dans sa composition et dans sa manière d'être, dans différentes places de la forêt, mais elle constitue malgré cela un bon caractère distinctif du terreau par opposition à la tourbe.

Aspect du sol. — Le sol, dans une forêt reposant sur le terreau, est recouvert d'une couche plus ou moins épaisse de débris des arbres, feuilles, branchettes, écailles de bourgeons, inflorescences, enveloppes de fruits, etc. Ces débris gisent à l'état meuble les uns sur les autres. Çà et là, on rencontre bien deux ou trois feuilles réunies par un mycélium blanc épais, mais prise dans son ensemble, la masse des détritus est formée de fragments isolés éparpillés sur le sol.

Lorsqu'on écarte la couverture, la surface brun-noirâtre ou brun-grisâtre du sol a un aspect graveleux ou granuleux. La ligne de démarcation entre la couverture et le sol, entre les détritus indécomposés et les restes organiques tout à fait désagrégés et pourris, est d'ordinaire tout à fait tranchée : il en résulte que, lorsqu'on écarte à la main la couverture, on a sous les yeux le terreau pur, mêlé seulement à quelques branchettes ou enveloppes de fruits tombés des hêtres.

Vient-on à creuser cette terre, elle se montre aussi complètement meuble que la terre de champ ou de jardin la mieux travaillée. On constate déjà cette propriété rien qu'en marchant dans la forêt ; le pied s'enfonce à chaque pas, comme dans un sol labouré. La couche superficielle, sur une épaisseur d'environ 3 pouces ($0^m,078$), est plus foncée que le dessous, souvent tout à fait brun-noir, brun-gris lorsqu'elle est desséchée, et possédant l'aspect granuleux et sablonneux de la surface.

Cette couche passe progressivement à la forme qui est propre au sous-sol, la profondeur de la bande superficielle variant de 3/4 de pied à 2 pieds (environ $0^m,230$ à $0^m,628$), quelquefois s'étendant jusqu'à 3 à 4 pieds ($0^m,941$ à $1^m,569$) et plus au-dessous de la surface.

La terre conserve, à ces profondeurs variables, sa porosité et son ameublissement, mais sa couleur peut varier, bien que, dans un même emplacement, elle demeure complètement homogène dans toute la masse. Parfois la couleur de cette couche est brun-gris foncé comme celle de la bonne terre de jardin bien travaillée : le sol semble alors constitué par des couches de terreau d'une puissance de 4 à 5 pieds ($1^m,255$ à $1^m,569$), quelquefois la teinte est plus claire et rappelle la couleur ocreuse des argiles jaunes du Danemark. Aussi loin que se sont étendues jusqu'ici mes observations, elles me conduisent à admettre que la couleur dans les formations de ce genre n'est pas une condition essentielle du sol, bien que les praticiens pensent tout autrement lorsqu'ils réservent le nom de terreau pour les sols foncés et considèrent comme sous-sol la terre moins colorée.

Comme l'analyse chimique montre qu'il y a autant de matière organique dans la couche profonde du terreau que dans la couche superficielle et que toutes deux semblent par toutes leurs propriétés

appartenir à des formations analogues (voir Profils I à III sur la planche 1), je caractériserai cette couche, sans tenir compte de la coloration, comme couche superficielle du sous-sol (*Obergrund*) et je réserverai l'expression terreau (*Mull*) à la couche supérieure de couleur foncée et nettement graveleuse.

Partout, même dans les sols tant soit peu ou assez argileux, j'ai toujours observé des limites très nettement caractérisées entre la couche superficielle du sous-sol et le sous-sol proprement dit. Lorsqu'on creuse, on constate le passage d'une couche complètement poreuse et meuble à une couche plus ferme ; cette fermeté est parfois si grande, dans la partie supérieure du sous-sol, qu'on a de la peine à le fouiller et que de forts coups de bêche ne pénètrent qu'à un à deux pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0523$) dans la terre.

La différence des deux couches est également reconnaissable à l'œil ; la partie la plus superficielle du sous-sol, en dehors de la grande ténacité, est reconnaissable à sa coloration fréquemment blanchâtre comparativement à celle des couches sus et sous-jacentes (Profils du tableau I et fig. 9). Lorsque cette couche blanchâtre est assez puissante, on y remarque fréquemment des taches et des veines colorées, comme il s'en présente dans les parties plus profondes du sous-sol, par de l'oxyde de fer hydraté. La limite entre le sol et cette couche solide blanchâtre, qui a d'ordinaire une puissance de 1/2 à 2 pieds ($0^m,157$ à $0^m,628$), est souvent assez nette, mais elle forme rarement sur de longs espaces une ligne horizontale. Le sol plonge fréquemment par languettes dans le sous-sol ou bien la limite de séparation est ondulée et irrégulière. J'ai rencontré cette couche blanche et solide dans les différents points des forêts de la mer du Nord, dans lesquels j'ai creusé les sols pas tout à fait exempts d'argile, jusqu'à la profondeur à laquelle j'atteignais la limite de la couche poreuse (Store Hareskov, Gelsskov, Rungstedhegn, Gribskov, forêts domaniales de l'Odsharde); j'en conclus que cette formation est généralement répandue dans les forêts de hêtres reposant sur les sols à *Mull* (terreau). Dans la seule forêt de Stokkebjerg, dans l'Odsharde, je n'ai pas rencontré cette couche décolorée à la surface du sous-sol. Cette surface passe, par une limite incertaine qu'une coupe bien nette permettrait seule de saisir, de la couche ordinaire peu tenace,

inégalement de couleur ocreuse et fendillée, à un lehm sableux qui forme le fond des couches dans lesquelles la végétation vient chercher ses aliments. Dans les sols franchement sableux, maigres, les limites entre les couches superficielles et profondes du sous-sol ne semblent plus pouvoir être distinguées.

Analyse microscopique et mécanique. — Les éléments graveleux et grumeleux de la couche propre de terreau, examinés au microscope, se montrent partout constitués par un mélange intime de matières organiques et d'éléments minéraux. A la surface apparaissent des grumeaux d'une masse de plantes associées à quelques restes d'animaux, à divers états de division, mais dont la structure est encore nettement reconnaissable. Beaucoup plus bas, la forme des fragments est plus incertaine, les restes organisés sont dissous en quelque sorte dans une masse qui n'offre plus que de rares traces d'organisation et qui ont l'aspect de détritus organiques indéterminables. Les grumeaux isolés sont toujours poreux et se laissent écraser facilement par une légère pression de la lame de verre qui les recouvre.

Lorsqu'on met dans l'eau la partie inférieure du terreau, elle se résout en grains d'un diamètre variant de 5 millimètres aux plus petites dimensions, toujours caractérisés d'ailleurs, quelle que soit leur finesse, par un mélange intime de restes organiques avec du sable, des grains de feldspath et autres éléments minéraux. Les parties les plus profondes du terreau ne se laissent pas distinguer au microscope de la couche superficielle du sous-sol.

La couche superficielle du sous-sol se distingue par une parfaite analogie au point de vue de la consistance, de la coloration, par la proportion des substances qui la constituent, etc., et finalement en ceci : les éléments qui ont tantôt la couleur du terreau, tantôt une couleur qui se rapproche plus de l'ocre, et qui donnent la teinte particulière à cette couche, enveloppent des particules minérales, plus grandes dans le sous-sol.

Il est très difficile de donner une description claire de cette masse incrustante : elle consiste, en partie, en éléments qui paraissent amorphes, partie en petits corps (cristallisés ?) de toutes grosseurs, jusqu'aux plus faibles dimensions, qu'on a même peine à distinguer

avec les plus forts grossissements. L'homogénéité complète de la masse est le signe distinctif de cette couche : les corps humiques qui lui communiquent partiellement sa couleur ne peuvent pas être distingués comme éléments isolés, sous le champ du microscope ; la coloration appartient essentiellement à la masse elle-même.

A la loupe, on reconnaît aisément que la ténacité si fréquemment constatée dans la couche supérieure du sous-sol, ne dépend pas de la densité, mais doit être attribuée à son mode d'agrégation. La structure en est même poreuse, parfois comparable à celle d'un tuf fin. Les particules qui composent cette couche sont reliées les unes aux autres et agglomérées par des ponts, des murs et des planches formant un système de canaux déliés et enchevêtrés dont les parois sont fréquemment colorées par des dépôts de matière humique et à travers lesquelles, par-ci par-là, des fibres végétales se sont tracé un chemin. L'eau doit pouvoir s'infiltrer facilement à travers la masse, et là où elle existe je n'ai jamais constaté aucun signe de formation marécageuse.

Quand on creuse la partie superficielle du sous-sol au-dessous du terreau (*Mull*), elle paraît entièrement exempte de pierres et de gravier, tandis que dans le sous-sol la bêche frappe contre des cailloux. Les analyses mécaniques que Tuxen a faites ont prouvé que ce n'est là qu'une illusion, car la couche superficielle et le terreau ne contiennent guère moins de cailloux que le sous-sol profond.

Ces cailloux sont cependant fréquemment si bien entourés de particules meubles qu'ils sont invisibles quand on creuse et se dérobent si facilement qu'ils n'offrent aucune résistance à la bêche. Mais à un autre point de vue il existe une différence notable entre les éléments minéraux des couches superficielles et des couches profondes du sous-sol, la quantité d'argile augmentant avec l'approfondissement (tableau I), de telle façon que, dans les points que nous avons examinés, le taux d'argile était moitié plus élevé à cinq pieds (1^m,569) de profondeur qu'à la surface. On peut considérer comme un caractère constant de la superficie du sous-sol sa pauvreté en argile par rapport à la couche profonde, et des plongements du terrain peuvent seuls apporter une exception à cette règle. (Comparez Prof. VI.)

Analyse chimique. — Le terreau et la couche sous-jacente ne

renferment pas d'acide humique libre, soluble. Quand on a chassé l'acide carbonique qui rougit, dans tous les terreaux frais de hêtre, le papier de tournesol, ce terreau ne présente plus aucune réaction acide. Le terreau semble être assez riche en matériaux humiques, mais il n'en contient cependant pas plus de 5 à 10 p. 100 [1]. La quantité d'humus est bien moindre dans la couche superficielle du sous-sol et décroît progressivement de haut en bas. (Prof. I, II et III, tableau I.) Les matériaux inorganiques solubles suivent une tout autre progression. Le terreau en renferme une quantité très appréciable, ce qui se comprend facilement, car cette couche consiste en partie en restes incomplètement décomposés de corps organisés dont les éléments des cendres doivent augmenter la teneur du terreau en composés solubles. Immédiatement sous la couche sombre de terreau, le sol est au contraire plus pauvre en combinaisons minérales solubles qu'aucune autre partie de la coupe dont la teneur en ces principes va en général en augmentant avec la profondeur. Dans les emplacements étudiés, l'augmentation du taux du fer et de la chaux est extraordinairement régulière ; l'acide phosphorique et la potasse présentent, au contraire, de grandes variations [2].

Végétation du hêtre sur le terreau.

Le hêtre en station sur le terreau. — L'accroissement du bois est intense, le développement en hauteur considérable. La végétation foliacée est luxuriante ; l'écorce lisse et claire. Un grand nombre de mesures de l'accroissement seraient nécessaires pour permettre d'exprimer en nombres quelque peu rigoureux l'influence du terreau sur l'accroissement du bois, et ces mesures n'ont pas été faites. Mais rien qu'à l'aspect, tout forestier un peu expérimenté le constatera, s'il a dirigé son attention sur la constitution du terreau partout où, sur ces formations humiques, la croissance de la forêt est bonne.

---

1. Voir plus loin les analyses de Tuxen.

2. Deux séries d'analyses ne suffisent pas pour tirer à ce sujet des conclusions détaillées. Je ferai cependant remarquer que l'échantillon *b'* du profil II provient d'une partie assez compacte de la couche superficielle du sous-sol qui n'a pas été, comme celle du profil III, coupée par les galeries des grands lombrics.

Le développement des racines du hêtre est tout différent de ce qu'il est en tourbe. Les racines superficielles sont en nombre beaucoup plus grand et les racines secondaires ne pénètrent souvent qu'à la profondeur de quelques millimètres au-dessous de la surface brun grisâtre de la terre.

Cependant les racines du hêtre ne couvrent pas encore toute la superficie du sol ; elles laissent un nombre immense de places plus ou moins grandes inoccupées qui permettent aux plantes qui forment le tapis de s'étendre dans la couche d'humus. La partie superficielle du sous-sol est également riche en ramifications de racines et en grosses racines d'arbre. Toute la couche du sol jusqu'au sous-sol concourt à l'alimentation de la végétation, les couches tenaces de la terre ne sont point dépourvues de racines, surtout là où le grand lombric leur a ouvert des chemins où elles peuvent pénétrer.

Autres organismes. — Le terreau de hêtre et le sol qui y confine servent, comme on le comprend aisément, d'habitation à une armée de petits organismes visibles ou invisibles à l'œil nu, appartenant aussi bien au règne végétal qu'au règne animal. Pas un de ces êtres innombrables n'est sans importance pour la formation du terreau. L'étude de ce petit monde et de leurs relations sociales si variées exigerait beaucoup plus de temps et de recherches que l'auteur n'a pu leur en consacrer. Les organismes sur lesquels on appellera ici l'attention du lecteur sont ceux qui m'ont paru jouer le rôle le plus actif et qui, à mon avis, ont la signification la plus importante pour la distinction du terreau (*Mull*) d'avec la tourbe (*Torf*).

Les feuilles isolées et le terreau qui les recouvre sont divisés et détruits par une série de plantes et d'animaux qui seront à leur tour anéantis par l'action d'autres organismes.

Parmi les plantes viennent, en première ligne, les champignons. Rostrup m'a nommé 47 espèces parmi les grandes formes de champignons visibles à l'œil qu'on rencontre le plus fréquemment dans les forêts de hêtres. En dehors de ceux-là, on rencontre dans le terreau de hêtre une armée de plus petits champignons très répandus (mucorinées, myxomycètes, etc.) et une quantité innombrable d'organismes inférieurs à ceux-là et qui appartiennent au groupe des monères. Parmi les champignons inférieurs, je signalerai quel-

ques mycéliums microscopiques, déliés, bruns ou brun-noirâtre, qui croissent sur les racines du hêtre et de là se répandent librement dans le sol. Ils ne semblent pas jouer ici un rôle plus important que beaucoup d'autres espèces végétales, mais nous reviendrons sur ces organismes remarquables quand nous parlerons de la tourbe du hêtre.

Aussi loin sous le sol qu'on rencontre des traces de la vie organique de la surface, on trouve des champignons : dans le terreau (*Mull*) notamment et dans la couche superficielle du sous-sol, il y a un tel enchevêtrement de fils mycéliens microscopiques de forme et de couleurs différentes, que le plus petit grain de terre placé sous le microscope offre toujours quelqu'un d'entre eux à l'observateur ; ils se présentent en masses plus considérables, avec l'aspect de fibres fines comme du fil de verre, facilement séparables les unes des autres. Lorsqu'on songe que tout ce tourbillon provient de restes organisés du sol forestier et vit de substances organiques empruntées au sol, on est éclairé sur le rôle considérable que jouent ces êtres dans la formation de l'humus : on comprend combien est essentielle l'influence de la flore cryptogamique sur le sens que prendra la transformation du sol en humus.

Dans ce monde végétal invisible, mais si riche, se meut une quantité d'organismes animaux non moins considérable, parmi lesquels je m'occuperai spécialement des vers de terre, parce que, sans aucun doute, ils constituent l'élément le plus important du monde animal du terreau.

Lorsqu'en automne, on considère la surface récemment couverte des feuilles tombées des arbres, on remarque çà et là dans beaucoup de points de la forêt de petites places moins bien recouvertes de feuilles que le reste du sol et dans lesquelles on aperçoit encore la terre noire à nu. Lorsqu'on a été rendu attentif à ce fait, on distingue un grand nombre de ces espaces, souvent à 4 à 6 pouces ($0^m,105$ à 0,157) seulement les uns des autres. Une observation plus minutieuse montre que ces places nues consistent en petits tas de terre mélangés d'écailles, de pédoncules, pédicelles et petits fragments de feuilles. Dans le milieu du petit amas de terre se trouve fréquemment une feuille de hêtre disposée en cornet, la pointe fixée dans la terre.

Les petits tas sont les ouvertures des galeries des lombrics et les grumeaux noirs qui forment ces tas consistent essentiellement en excréments des vers. La comparaison de la structure de ces grumeaux, soit avec les excréments frais provenant indubitablement des lombrics, soit avec le contenu même du canal digestif de ces derniers, ne saurait laisser aucun doute à ce sujet. Les excréments n'ont jamais été déposés totalement ni même partiellement dans les points où l'on rencontre ces petits tas. Suivant toute vraisemblance, ils sont rassemblés, lorsqu'ils sont secs, par le lombric en un tas qui recouvre l'orifice du passage de l'animal : en effet, en dehors des forêts, j'ai rencontré ces petits tas d'excréments accumulés exclusivement dans les points où le sol n'offrait pas au ver d'autres matériaux pour boucher l'entrée de la galerie.

C'est le grand ver de terre[1] (*Lumbricus terrestris L.*) qui habite, dans nos forêts de hêtres, ces galeries recouvertes si habilement.

Lorsqu'on regarde la terre qui les avoisine, on aperçoit partout les mêmes éléments qui constituent ces petits tas, seulement plus éparpillés ou plus aplatis par la pluie, parce que, d'après une observation longuement poursuivie, il semble que toute la couche superficielle de la terre jusqu'à une profondeur d'un demi-pouce ou d'un pouce ($0^m,013$ à $0^m,026$), soit formée par des excréments de ver de terre et que la couche de terreau brun sous-jacente soit aussi constituée par le même élément, dans un état de dissolution et de décomposition plus avancé.

Si l'on examine au microscope les petits grumeaux, on s'aperçoit que, le plus souvent, en réalité, ils consistent fréquemment en un détritus indéterminable de nature organique, à côté de particules de terre inorganique. Mais souvent ils sont formés principalement de plus gros restes de plantes de structure bien définie et ceux-ci existent quelquefois en si grande masse que les grumeaux noirs peuvent être comparés à des excréments de chevaux en miniature, seulement avec cette différence que les restes organiques dans le

1. Tous les vers que j'ai récoltés et déterminés appartenaient à cette espèce, mais vraisemblablement la forme voisine, plus petite, *Lumbricus rubellus Hoff.*, dont le genre de vie est le même, doit se rencontrer aussi dans nos forêts.

fumier de cheval ont presque tous à peu près la même grandeur parce qu'ils sont détruits par la mastication, tandis qu'au contraire les grumeaux produits par les vers de terre renferment des résidus de dimensions très différentes, l'animal qui les produit ne pouvant pas diviser les débris végétaux. Ces derniers sont à moitié entraînés en bas dans les galeries, si bien que les tas semblent regorger d'une botte de pédicelles, etc., et s'ils sont à moitié putréfiés ou mouillés, ils sont dévorés par les vers. J'ai trouvé dans les grumeaux des feuilles entières de mousses, des morceaux de feuilles de hêtres, de plus grandes radicules et une masse d'autres restes de plantes parmi lesquels je veux mentionner le *mycélium* dont on a déjà parlé et qui traverse le canal intestinal du ver de terre sans subir une modification apparente; mais, en outre, une quantité assez notable de morceaux de chitine, de dards et de poils d'insectes, ainsi que des parties d'ailes de papillons et des soies du ver de terre lui-même.

Outre ces restes organiques, les grumeaux renferment encore quelques éléments inorganiques qui se trouvent dans le canal intestinal de l'animal, comme, par exemple, de gros et de petits grains de sable, argile, etc. Dans une analyse faite par Tuxen de ces excréments recueillis avec soin sur un sol de Gelskov et séchés à l'air, on obtint la composition suivante :

	P. 100.
Eau	7.5
Perte par calcination au rouge	30.4
Cendres	51.8
Matières solubles dans l'acide chlorhydrique	10.3
	100.0

Dans les cendres on trouva :

	P. 100.
Sable au-dessus de 1/3 de millim.	12
Matières diverses au-dessous de 1/3 de millim.	88

Comme la couche de terreau renferme ces matières presque dans les mêmes proportions, puisque dans le terreau la quantité de sable grossier est, par rapport à la somme de sable fin et d'argile, dans la proportion de 11 à 89, il semble que le grand ver de terre, en

dehors de l'aliment végétal, assimile un peu de terre, probablement pour aider à la digestion des restes de plantes durs que le corps mou de l'animal ne serait pas en état de diviser, mais qui peuvent en partie être digérés, grâce aux mouvements de l'intestin et, en tous cas, séparés avec l'aide du sable.

Si l'on suit la galerie à une profondeur plus grande, on trouvera souvent la partie supérieure recouverte d'une couche mince d'un sous-sol jaune, dont la couleur contraste beaucoup avec le terreau sombre que la galerie traverse. Les galeries descendent à peu près perpendiculairement dans le sol; elles s'infléchissent parfois en forme de baïonnette, mais poursuivent d'ailleurs leur chemin tout à fait droit; seulement il est impossible de suivre leur descente non seulement à travers le sol, mais encore à travers la couche superficielle claire du sous-sol.

J'ai déterré ces galeries depuis une distance de la surface de 1 centimètre à 1 centimètre et demi jusqu'à une profondeur de 3 à 4 pieds ($0^m,94$ à $1^m,25$), mais d'autres auteurs ont fait des observations jusqu'à une profondeur de 6 pieds[1] ($1^m,88$) et même de 10[2] ($3^m,138$). Dans le sous-sol clair, les parois de la galerie sont souvent doublées d'une couche mince de terre noire qui les recouvre, consistant principalement en excréments de ver, qui assurément ont été déposés de préférence sur la surface.

En creusant soigneusement la terre, on peut trouver des galeries de vers en quantité extraordinaire. Ainsi, à *Gelskov*, à 2 pieds ($0^m,627$) au-dessous de la superficie du sol, sur une surface de 5 pieds carrés, j'ai compté jusqu'à 43 galeries de ver, qui descendaient loin dans le sous-sol, et apparemment provenaient de gros vers de terre. Ce nombre donne pour un hectare 2/3 de million à 1 million de semblables tuyaux de drainage verticaux, de diamètre très considérable. Quand la surface du sous-sol eut été nettoyée avec soin en vue du dénombrement, je remarquai que de plusieurs galeries s'élevaient de petites

1. Hensen, *die Thätigkeit des Regenwurms, u.s.w.* (*l'Activité du ver de terre, etc.*) [Siebold et v. Kölliker, *Zeitschr. f. wissensch. Zoologie*, t. XXVIII, 1877, p. 355].

2. Hofmeister, *Beiträge zur Kenntniss deutscher Landanneliden* (*Contributions à la connaissance des annélides des champs*) [Wiegmann, *Arch. f. Naturgesch*, année IX, 1843, p. 187].

radicelles ; en les saisissant, je pus retirer des racines de hêtres solidement ramifiées, fines, atteignant jusqu'à un pied de long ($0^m,314$). Ces racines devaient avoir pris place toutes seules dans les trous et s'être alors ramifiées profondément, après que le ver avait déménagé ou était devenu la proie des musaraignes ou des taupes, pendant ses pérégrinations nocturnes.

Ces vers ne sont pas exclusivement habitants de la terre, leur peau ferme et le puissant pigment brun, noir-brun ou bleu-noir qui irrise la peau de leur dos et sur les côtés est la preuve qu'ils vont à la surface de la terre : des observations d'autres auteurs ont démontré que le grand ver de terre rampe pendant la nuit de tous côtés sur la superficie du sol. La nature de ses excréments prouve qu'il ne dévore pas seulement de la terre, mais qu'il mange aussi tous les restes végétaux morts, qui gisent sur le sol des forêts ; par suite, il doit donc contribuer à un haut degré par la décomposition du sol à la formation du terreau, en mélangeant celui-ci avec la terre et en ramenant à la superficie les couches plus profondes. La grande quantité de galeries qu'il trace contribue aussi à l'approfondissement du sol. Il opère dans une certaine proportion un bon labourage du sous-sol, qui doit favoriser d'une façon extraordinaire la croissance des arbres, surtout en hauteur.

Cependant le *Lumbricus terrestris* ne se trouve pas, à beaucoup près, partout dans le bon terreau de hêtre. Il y a de grandes étendues boisées, qui reposent sur un pareil sol, et où la couverture de feuilles s'étend sur le sol sans interruption, tard à l'automne, et sur lesquelles on ne rencontre pas les tas du grand ver de terre. Mais là encore je n'ai pas en vain entrepris des recherches sur les vers de terre, car il existe ici une forme analogue à la forme mentionnée, quoique bien plus petite (*Lumbricus purpureus Eisen*), que l'on pourrait appeler ver de terre de hêtres (*Buchenregenwurm*), parce que ce dernier, d'après le forestier suédois Eisen, qui a étudié spécialement le ver de terre, a son habitation dans les forêts de hêtres[1]. Son mode d'existence est pourtant différent de celui du *Lumbricus*

1. G. Eisen, *Bidrag til Skandinaviens Oligochälfauna* (*Öfvers. af Kgl. Vetensk-Akad. Förhandl,* 1870, p. 957).

terrestris ; il se tient sous la couverture, mais il ne s'enfonce pas en terre, car je l'ai vu ramper dans les jours d'automne sombres et humides, en nombre assez considérable, entre les feuilles tombées et au-dessus d'elles. Il se nourrit de la même façon que le grand ver de terre, ce qui ressort des recherches faites sur le contenu de ses intestins et de ses excréments déposés entre les feuilles.

L'analyse de Tuxen montre que la composition de ces derniers (du grand *Hareskov*), desséchés à l'air, est la suivante :

	P. 100.
Eau	4.7
Perte par calcination au rouge	23.9
Cendres	64 0
Matières solubles dans l'acide chlorhydrique	7.4
	100.0

On trouva dans les cendres :

	P. 100.
Sable au-dessus de 1/3 de millim.	9
Matières diverses au-dessous de 1/3 de millim.	91

Dans la terre prélevée sous la même place, le sable grossier se trouva, vis-à-vis du sable fin et de l'argile, dans la proportion de 13 à 87, si bien qu'il ressort de là, avec la plus grande vraisemblance, que ce ver absorbe aussi un peu de terre, bien qu'il ne prenne que peu de gravier en raison de sa taille plus petite que celle du grand ver de terre qui atteint quelquefois une longueur d'un pied (0^m,3138).

Le ver de terre des forêts de hêtres se rencontre souvent en très grande quantité à la surface et, dans les journées humides d'automne, j'ai pu en récolter plusieurs fois par douzaines sur une surface d'un pied carré.

Mais, outre ce dernier, il existe encore dans le terreau de hêtre beaucoup de sortes de vers de terre. Dans la partie superficielle du sous-sol résident une quantité de vers de terre plus petits, pâles, couleur de viande, couleur gris-rouge, que les zoologistes considéraient autrefois comme un genre particulier (*Lumbricus communis Hoffm.*), mais qui, maintenant, sont divisés en plusieurs espèces. Parmi ces derniers, ceux que j'ai rencontrés souvent en grande quantité sont les *Allophobora turgida Eisen*. Leur couleur et leur peau sont des

indices certains qu'ils ne viennent qu'exceptionnellement à la superficie de la terre ; ils vivent dans le sous-sol, n'ont sans doute pas de galeries fixes, mais percent, en la rongeant, la terre, où le *mycélium* délié est peut-être leur aliment de prédilection. En général, on pourrait bien se demander si ce n'est pas plutôt la végétation de champignons qui tapisse la couverture des sols forestiers, qui fournit la nourriture au ver de terre que les restes de plantes mortes, qui ne peuvent être assimilés par le système digestif des vers que dans une faible proportion.

De plus, il existe encore une armée de vers de terre de très petite espèce, dont la longueur atteint seulement quelques millimètres à un centimètre ; ils ont tous été classés par O. F. Müller sous le nom de *Lumbricus vermicularis,* mais forment maintenant un genre spécial d'*Enchytreus* qui comprend une série considérable d'espèces. Ils vivent de préférence dans la couche superficielle de terreau sombre, profonde de quelques pouces, et, pour ainsi dire, chaque fois que l'on place quelques grumeaux de terre dans une assiette avec de l'eau, un de ces petits vers alertes, transparents comme le verre, sort des grumeaux et cherche à s'échapper du liquide avec de vives contorsions. On peut voir à travers la peau que le contenu de leur intestin est tout à fait le même que celui des grands vers de terre, qu'il renferme de nombreux grains de sable, ce qui prouve qu'ils absorbent aussi de la terre.

Cette masse de vers de terre, dont plusieurs millions vivent dans un hectare de terreau de hêtre type doivent produire un travail de la plus haute importance pour l'état du sol.

A cela s'ajoute encore l'activité de leur ennemie, la taupe, qui vit exclusivement de vers de terre [1] et le terreau se reconnaît souvent rien que par les taupinières qu'il porte.

Outre ces vers de terre, il y a, bien entendu, ici une grande quantité d'insectes plantivores et de leurs larves, à côté d'animaux qui les recherchent : de plus, des scolopendres, des hysopes indigènes et d'autres ; mais comme le ver de terre, seul, se rencontre sur le

1. Tauber, *Om Tandsät og Levemaade hos de danske Flagermus og Insektädere* (*Schiödte, Naturhist. Tidskr.* III R, VIII Bd, p. 262).

terreau, tandis que la tourbe sert d'habitation aussi bien à des représentants d'insectes qu'à d'autres crustacés du pays et d'autres groupes, de tous les organismes animaux, les vers peuvent être considérés comme caractéristiques du terreau proprement dit.

Le terreau de hêtre doit donc être envisagé d'après cela comme un dépôt des débris des forêts de hêtre, riche en organismes animaux et principalement en vers de terre, transformé en une couche meuble et incohérente, dans laquelle les restes organisés sont mêlés intimement avec les substances minérales. Sous le terreau, le sol est parfaitement poreux et uni.

Tourbe de hêtre.

Plantes caractéristiques. — La forme de l'humus que nous désignons sous le nom de tourbe de hêtre (*Buchentorf*) se distingue d'une façon évidente dans sa forme typique par sa végétation. Les plantes qui sont particulièrement caractéristiques de la tourbe de hêtre sont l'*Aira flexuosa* et le *Trientalis europœa*. Dans les forêts de hêtres consistant en massifs élevés tant soit peu en futaie pleine, où le sol est recouvert de cette tourbe, ces plantes sont à peu près également fréquentes et l'aire se présente seulement dans les fascicules disséminés; mais là où la forêt est plus claire, elle se développe fortement aux dépens du *Trientalis*. Au milieu de ces plantes se trouve, dans la forêt qui n'est pas encore complètement éclaircie, une riche végétation de mousses qui, dans le domaine de *Telgstrupp*, est représentée principalement par les espèces suivantes : *Hypnum triquetrum L.*, *Polytrichum formosum Hdw.*, *Dicranum scoparium Hdw.* et *Leucobryum vulgare Hmp;* ces formes sont très répandues, tandis que l'*Hypnum cupressiforme L.* et le *Ceratodon purpureus Brid.* apparaissent sporadiquement. Ces plantes constituent quelquefois la seule végétation active, mais souvent ici il se développe en même temps une végétation d'airelles myrtilles et, en outre, bien qu'elles ne soient pas exclusivement liées à la tourbe, quoique pourtant elles viennent en général et de préférence sur ce sol, on trouve la fleur de mai (*Majanthemum bifolium*) et le blé des cailles (*Melampyrum pratense*) ; dans les forêts de *Silkeborg*, j'ai trouvé aussi, par

extraordinaire, la tormentille (*Potentilla Tormentilla*) généralement répandue. Cette flore, qu'on pourrait appeler *Trientalis Vegetation* (végétation trientalique), est si caractéristique de la tourbe de hêtre qu'elle est particulièrement propre à servir d'indice certain de l'existence de cette formation, quoiqu'elle éprouve des changements dans sa composition, de même que la végétation de l'aspérule.

Aspect du sol. — Dans une forêt de hêtres consistant en massif tant soit peu élevé en futaie pleine, sur une couche de tourbe, le sol n'est recouvert que parcimonieusement de la végétation dont nous venons de parler. Il porte une culture misérable; de petites branches et des ramules et aussi, çà et là, quelques restes de plantes forment la surface entre la mousse et les plantes phanérogames peu abondantes et peu apparentes. Mais ce qui frappe surtout, c'est que, sur le sol de tourbe, la couverture de feuilles meuble, qui s'étend partout sur le terreau, fasse défaut. Le sol est ferme et ne cède pas plus sous le pied qu'une épaisse couverture de feutre sur un sous-sol dur. La superficie est si compacte que l'eau de pluie forme parfois des flaques sur le sol sablonneux meuble, quand la tourbe a étendu sa couverture sur le sol; mais une fois que cette couverture est entièrement humectée après un temps humide continu et elle est alors comme une éponge imbibée d'eau, tandis que la couche de terre immédiatement sous-jacente est restée sèche.

Si l'on creuse le sol à la bêche, on rencontre d'abord une couche d'humus noir-brun, tenace : la tourbe ; puis en dessous, un sable en général meuble plus ou moins nettement limité par la couche de tourbe, qui n'a pas du tout la couleur jaune d'ocre, si habituelle à la croûte terrestre de formation d'alluvion. Sa coloration varie entre le gris-blanc et le gris ou noir-gris et est en général d'autant plus claire qu'on s'éloigne plus de la couche tourbeuse. Sous cette couche, on trouve une couche de terre colorée en rouge-brun ou brun et enfin sous celle-ci de l'argile sablonneuse, du sable ou une forme intermédiaire entre ces deux matières.

Ces couches, représentées dans les figures 1 (Profil IV) et 2[1]

---

1. Sur les tableaux I et II se trouve l'explication des caractères d'indication du profil, qui partout ont la même signification. On doit seulement faire remarquer que

ont cependant une puissance très différente et présentent encore des divergences importantes. La couche de sable gris, que nous appellerons sable plombifère, peut être réduite sous une couche mince de tourbe à une bande très fine d'une puissance d'à peine 1 pouce (0^m,026), sans limites nettes, et elle peut aussi croître jusqu'à une couche de sable presque blanc d'une épaisseur de 4 pouces (0^m,105) nettement délimitée, comme cela se trouve très souvent dans les forêts des pays de la mer du Nord ; un petit nombre seulement ont rarement une épaisseur de 6 pouces (0^m,157), mais ces dépôts atteignent pourtant dans les forêts sur le sable amoncelé du Jütland une puissance de 2 pieds (0^m,628).

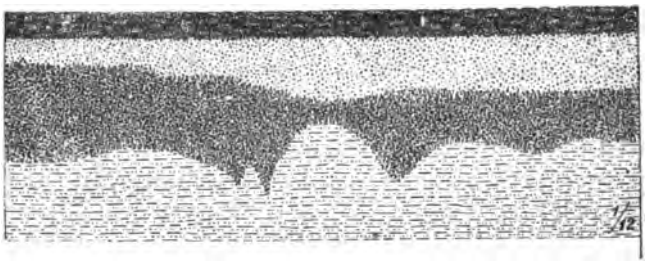


Fig. 1. — Profil IV. Store-Hareskov. (Forêt d'État dans Seeland.)

Sur le terrain plat, il existe, entre l'épaisseur de la couche de tourbe et de sable plombifère, un certain accord, et les plus puissantes couches de tourbe gisent sur les plus épaisses couches de sable. Sur le terrain plus fortement coupé, cette règle souffre pourtant beaucoup d'exceptions, en ce sens que notamment dans les enfoncements les couches de tourbe, plus puissantes, sont déposées sur les couches plus épaisses de sable. Le sable est en général très meuble ; cependant, il est quelquefois, aux limites de la couche sous-jacente, dur et, à quelques places, comme siliceux (fig. 2).

La couche brunâtre qui se trouve sous le sable plombifère, que dans la suite nous appellerons *Ortstein* [1], est tout aussi variable

---

la hachure de la figure 2 avec de petits traits clairs horizontaux, indique une couche dure sablonneuse, qui n'a pas été trouvée aux places que les autres indications du profil doivent représenter.

1. Voir plus loin la définition exacte de ce mot. H. G.

comme puissance et consistance. Sous la fine bande de sable plombifère, qui a à peine l'épaisseur d'un pouce ($0^m,026$), la terre rouge n'a pas non plus ordinairement une grande épaisseur; mais sous les couches plus puissantes de sable blanc, cette formation peut aussi atteindre une épaisseur de 4 à 6 pouces ($0^m,105$ à $0^m,157$), et même jusqu'à un pied et demi ($0^m,471$). J'ai vu varier la puissance totale de ces trois couches entre 4 pouces ($0^m,105$) à peine et 2 pieds 1/2 ($0^m,785$). Les couches minces de terre rouge sont toujours poreuses et terreuses, et même les dépôts plus puissants de 4 à 6 pouces ont souvent une consistance aussi faible. Mais, en général, les couches de terre rouge plus épaisses sont tenaces et se développent ensuite comme formation sablonneuse ou bien sous forme de véritable *Ortstein,* bien connu des landes, comme notamment dans les forêts de Silkeborg, dans le Jütland.

Ces deux couches occupent soit toute la place du sous-sol (Profil VIII, fig. 2), ou bien dans les formations récentes et plus faibles, seulement la plus petite partie supérieure (Profil IV, X, fig. 1, 9). Suivant que la première ou la dernière formation s'est produite, nous trouverons dans ces couches le sol meuble, bien mélangé, complètement transformé dans ces couches, ou bien il occupe encore un espace plus ou moins grand entre la terre rouge et le sous-sol (fig. 9). Le sol sous la terre rouge est pourtant souvent très dur et tenace, même quand les couches en question ont une puissance de 10 à 12 pouces ($0^m,261$ à $0^m,314$), sans que l'on puisse dire avec certitude que nous ayons ici le sous-sol d'origine.

Ce sous-sol est donc très fréquemment tenace, dans les cas où la couche de sable plombifère et de terre rouge est plus puissante, comme le sous-sol du terreau. Au reste, il est très différent et il peut se présenter sous toutes les formes intermédiaires entre le sable maigre, pauvre en argile, que nous trouvons dans la forme d'alluvion et l'argile plastique et micacée, caractéristique des formations carbonifères. Le sous-sol est-il sablonneux ou quartzeux, les deux couches superposées présentent de faibles variations, excepté au point de vue de la puissance; si, au contraire, il est argileux, j'ai trouvé les couches dont j'ai parlé sous trois formes différentes.

Pour la première forme, le profil VI (tableau II) à *Store-Hareskov*

(*Seeland*) peut servir de modèle. Dans un bas-fond existant entre les parties les plus élevées[1], on trouve sous une couche de tourbe qui n'est pas remarquablement tenace, d'une épaisseur de 2 pouces 1/2 ($0^m,065$), une couche d'argile très claire, homogène, d'une puissance de 5 pouces ($0^m,131$) et dessous une couche d'argile rouge-brun, d'une coloration aussi uniforme et de même étendue, qui repose sur un sous-sol d'argile sableuse ordinaire, inégalement colorée en ocre jaune.

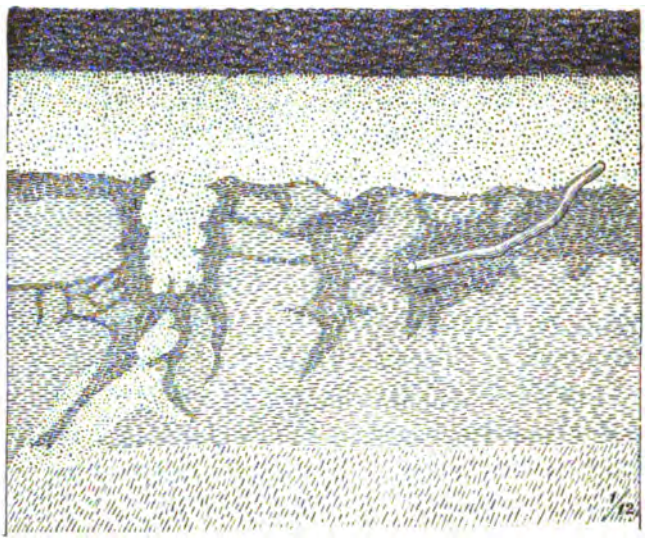


Fig. 2. — Profil VIII. Strandskoveu. (Forêt d'État dans Sceland.)

La seconde forme représentée par le profil VIII dans la figure 2 est tirée du parc de *Teglstrupp* (*Seeland*). Il montre une fosse d'argile, ouverte seulement quelques mois auparavant sur un terrain élevé, qui, des trois côtés, à une distance de 690 à 1 380 mètres, était entourée de parties en contre-bas de 6 à 8 pieds ($1^m,88$ à $2^m,51$). Sous une couche de tourbe remarquablement tenace et ayant une puissance de 4 pouces ($0^m,1046$), on trouva une couche de sable

1. Le nivellement a montré que le terrain voisin, à une distance d'environ $55^m,24$, s'élevait des deux côtés relativement à 5 ou 7 pieds ($1^m,569$ à $2^m,196$).

plombifère blanc-gris, épaisse de 6 à 7 pouces (0m,157 à 0m,183) et dessous une couche sablonneuse puissante de 16 pouces (0m,4284) de couleur gris-brun clair avec des filons brun foncé et des figures. Du haut en bas courait un filon du sable plombifère de la couche superficielle : le sous-sol consistait, comme dans la localité précédemment décrite, en argile sableuse ordinaire avec du gravier, du sable et des pierres glaciaires.

Fig. 3. Profil IX. Laven-Skov. (Silkeborg, Jütland).

La troisième forme doit être observée dans la figure 3, qui représente la coupe (Profil IX) des couches de terre sur un plateau élevé, faiblement boisé, à *Laven-Skov,* près *Silkeborg* (*Jütland*). Sous la couche de tourbe très tenace dont l'épaisseur dépasse 4 pouces (0m,1046), se trouve une couche de sable fin blanchâtre et micacé, d'une épaisseur de 3 à 4 pouces (0m,0784 à 0m,1046), dont la partie tout à fait inférieure est plus fortement colorée et qui est liée à un stratum très tenace de faible puissance. Immédiatement au-dessous se trouve une argile presque plastique, micacée, sans pierres glaciaires, qui doit être comptée sans doute comme formation carbonifère. Quoique la couche supérieure de sable plombifère recouvre l'argile comme une masse épaisse, sans fissures ni ouvertures, la partie supérieure de cette argile est pleine de fissures qui séparent en plusieurs places les parties de la terre en gros et petits grumeaux. Ces fentes sont remplies d'une masse poussiéreuse noir-brun, et les grumeaux en sont aussi recouverts, si complètement que dans une coupe nette le sol apparaît comme irisé par des filons bruns. Quand on enlève par grattage la poudre brune qui recouvre l'argile, la surface de cette dernière apparaît grisâtre, analogue à du sable plombifère, et pauvre en argile; mais, à une plus grande distance de la superficie (de quelques lignes jusqu'à un pouce), la masse est plastique et couleur d'ocre.

Analyse microscopique et mécanique. — Déjà à l'œil nu et avec l'aide de la loupe, lorsqu'on sépare la couverture de tourbe tenace et feutrée, on constate que les déchets des forêts de hêtre, les fleurs, les feuilles, les écailles de pédoncules, les enveloppes de fruits, représentent la masse principale de cette couche, à côté d'un

tissu indéfiniment ramifié, formé de racines pour la plupart fines. Les racines ont partout la même structure, et leurs caractères anatomiques montrent qu'elles appartiennent à des dycotilédonées. Il y a cependant, surtout dans la tourbe épaisse, une structure particulière de racines qui se bifurquent suivant des couches horizontales; celles-ci sont en grande partie formées par des feuilles de hêtres, les plateaux sont réunis aux plateaux, en une série ininterrompue de faisceaux. Quand on pratique une fente profonde dans un pareil faisceau, on constate qu'il renferme une racine fortement ramifiée, qui s'élargit entre les couches de feuilles, comme si elle avait été pressée à plat. La figure 4 donne une image agrandie d'un semblable faisceau de feuilles dont un côté a été enlevé.

Dans la partie tout à fait superficielle de la tourbe, les restes de la couverture de la forêt de hêtres sont en quelque sorte intacts ; on y trouve une grande quantité de feuilles bien conservées entre des particules d'autres feuilles. Mais, plus on enfonce profondément dans la couche, plus irrégulière est la composition de la couche, plus les restes des feuilles sont divisés, plus grand est le nombre de directions suivant lesquelles les racines se ramifient. Dans la partie la plus basse de la tourbe, la couverture est plus fortement divisée, se détruit en débris de toutes les grosseurs possibles, et est mélangée avec une poudre fine noir brun. Des couches de tourbe très minces ou de puissance plus faible présentent une plus faible dégradation du haut en bas, mais en général les mêmes caractères.

Fig. 4. — Racines de hêtres s'étendant dans la tourbe entre les fragments de feuilles ; les feuilles ont été enlevées.

Si l'on cherche à séparer les fines ramifications de racines des feuilles mortes sur lesquelles elles s'étendent, on se trouve en présence d'une certaine résistance dont la cause n'est pas visible à l'œil nu, mais se reconnaît à l'analyse microscopique. La masse entière, les ramifications aussi bien que les feuilles et les autres élé-

ments de la couverture, est pour ainsi dire recouverte et entrelacée par un épais tissu de fils fins noir-brun, qui semblent être très tenaces et durs comme de la corne.

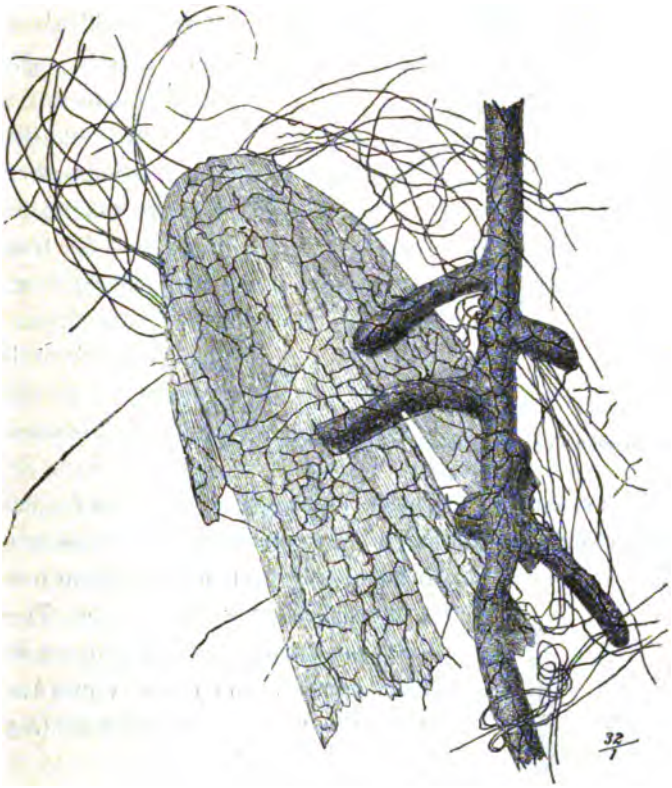


Fig. 5. — Une racine de hêtre dans la tourbe, avec la pointe d'une écaille de bourgeon tissée par le mycélium noir-brun.

C'est un mycélium qui se développe en des masses infimes et qui se réunit en un fil épais et dur, dont est formée la tourbe (fig. 5). Ce mycélium se décompose en un petit nombre de formes dont la figure 6 donne le type le plus fréquent, tandis qu'une autre ou peut-être deux autres seulement sont représentées dans la figure 7. Ce mycélium étudié, sur ma demande, par le mycologiste M. le professeur Rostrup, n'a pas encore pu être classé systématiquement avec certitude.

La forme la plus ordinaire (fig. 6) appartient au genre des cladospores et il pense qu'il peut être identique avec le *Cladosporium epiphyllum Fr.* ou peut-être aussi pourrait-il être considéré comme une espèce spéciale, qu'il appelle provisoirement *Cl. humifaciens*. La question ne sera résolue que lorsque le mycélium aura été trouvé en combinaison avec l'une ou l'autre forme d'organe de fructification propre, ce qui, jusqu'à présent, n'est pas arrivé.

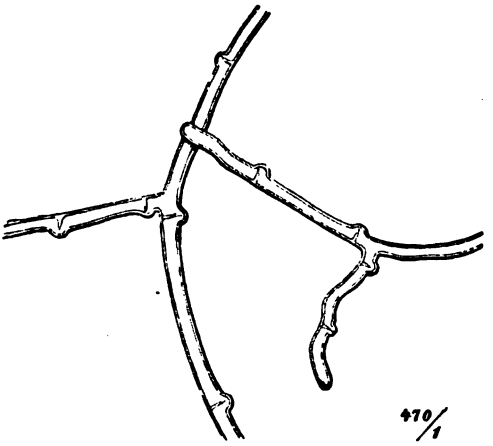


Fig. 6.
Fils de mycélium de *Cladosporium humifaciens Rostr.*

Les formes de *Cladosporium* se trouvent, d'après Rostrup, partout sur les feuilles corrompues et en fermentation, qu'elles soient encore sur les arbres et sur les buissons ou qu'elles soient tombées. La place des autres formes (fig. 7) est encore moins connue ; mais il propose de considérer provisoirement le mycélium à surface cornée comme *Sorocybe Resinæ Fr.* (*Summa. veget. Scand.*, p. 468.)

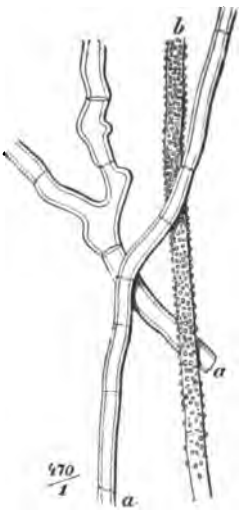


Fig. 7. — Fils de mycélium bruns sans cellules bouclées (tourbe de hêtre).

Pour comprendre exactement le pouvoir qu'ont ces formes de mycélium de servir de lien à la couverture des forêts et de réunir étroitement les racines existant dans la couche de tourbe à cette couverture, on doit observer leur force de résistance étonnante aux influences décomposantes ; ce tissu microscopique semble être tout à fait indestructible. Aussi trouve-t-on dans la partie inférieure de la tourbe des débris et des morceaux de tissus morts, et dans l'estomac

et les excréments des vers de terre et des larves d'insecte de petites parties de ces fils noir brun, qui paraissent n'avoir pas été altérés par les fluides du canal digestif. Dans une observation mentionnée plus bas, j'ai trouvé dans un état d'extrême décomposition, d'innombrables restes de ce tissu qui, vraisemblablement, étaient morts depuis une série d'années. Ils communiquent aussi à la tourbe, à un certain degré, cette grande force de résistance contre l'influence décomposante. Ainsi ai-je trouvé en très bon état de conservation dans le *Silkeborger Nordskov*, lors d'une recherche faite sur la terre d'un district de hêtres âgé d'au moins vingt ans, sous une épaisse couche de couverture formée d'aiguilles et de rameaux, le vieux terreau de hêtres sur lequel il avait été planté à l'origine, avec des débris de feuilles qui formaient un tissu comme dans la tourbe fraîche de la forêt de hêtres.

Quelle que soit la grande part que prend aussi ce réseau de racines d'un développement extraordinaire, à donner de la consistance à la tourbe, on ne peut mettre aucunement en doute que cette ténacité doit être attribuée surtout au mycélium brun.

Aux éléments de la tourbe déjà énumérés viennent s'ajouter encore une grande quantité d'éléments secondaires, tels que les restes d'autres plantes, quelques parties de chitine d'insectes, çà et là quelques excréments d'insectes, aussi bien que le thallus mousseux qui joue un rôle analogue à celui du mycélium brun, mais dont la stabilité et la force de résistance semblent défaillir contre des influences décomposantes.

Les analyses mécaniques montrent que la teneur en pierres des trois couches qui gisent sous la tourbe, aussi bien que sous le terreau, augmente avec la profondeur, tandis que leur teneur en argile croît tantôt avec la profondeur et tantôt diminue. Sous ce rapport, il est particulièrement intéressant de noter que, pour tous les profils qui représentent des places élevées, la teneur en argile s'accroît d'une façon très considérable avec la profondeur, alors que le seul profil d'un point très profond parmi ceux qu'on a examinés, le Profil VI (tableau II), a immédiatement au-dessous de la tourbe ses plus grandes teneurs en argile. Nous verrons plus tard que cette propriété doit être attribuée au pouvoir qu'a l'eau de délayer l'ar-

gile des parties hautes et de la conduire soit au fond du sol, soit dans les parties basses du champ. Mais, pour me convaincre que le procédé n'était pas inverse et que le sable n'est pas éliminé par un mouvement de l'eau, comme le croient d'ordinaire les praticiens, quand ils voient les bandes de sable blanchâtre au voisinage de la superficie de la terre, j'ai examiné avec l'assistance du garde forestier Bruhn, un profil d'une longueur d'environ 6,350 mètres à Store Hareskov. Là, apparaissaient des formations de sable plombifère de puissance différente le long de toute la ligne, mais on constata, par un nivellement soigneusement fait, que les sommets des collines, les petits plateaux et les enfoncements ne se comportaient pas de la même manière, et qu'il ne pouvait être en aucune façon nulle part question ici d'un entraînement du sable par l'eau.

Une recherche plus approfondie sur la structure particulière du sable plombifère et de la terre rouge démontre, en outre, que le premier consiste surtout en fragments purement minéraux, formés principalement de quartz, mélangé avec des particules des autres éléments du granit. Les particules humiques qui donnent une coloration noire surtout à la couche superficielle du sable plombifère immédiatement située au-dessous de l'argile, sont, en dehors des fines fibres de racines, essentiellement des particules noires d'humus. Le caractère de la terre rouge est tout différent. Là, chaque grain et chaque particule tenace sont entourés d'une substance qui paraît dépourvue de structure; ils sont incrustés d'une matière brune qui donne à la couche sa couleur et toute la masse entière, à cause de cela, ressemble d'une façon si frappante à la partie superficielle de la couche gisant sous le terreau, qu'il était impossible, à cause de cette uniformité de coloration, de découvrir à l'aide du microscope une différence perceptible entre la structure de la terre rouge et celle de cette couche. On trouve une incrustation semblable, mais, en général, moins parfaite et d'une autre composition, dans le sous-sol argileux.

Analyse chimique. — La couche tourbeuse de la forêt de hêtres renferme une grande quantité d'éléments organiques qui se monte en moyenne à 40 p. 100 et peut varier entre 30 et 50 p. 100 ; mais elle est en outre très acide non seulement à cause de sa teneur en

acide carbonique, mais en même temps à cause d'une quantité considérable d'acides humiques[1], qui, sans doute, en pénétrant toute cette masse tourbeuse, contribuent à sa stabilité. D'ailleurs, comme le montre le tableau II, elle est extraordinairement riche en éléments nutritifs des plantes, ce qu'explique seule sa teneur élevée en restes de plantes et en éléments minéraux. Même le sable plombifère, généralement très pauvre en terreau, n'est pas tout à fait exempt d'acides, mais nous trouvons pourtant ceux-ci en beaucoup plus grande quantité dans la terre rouge, qui est de nouveau plus riche en humus, et dans laquelle, à ce qu'il paraît, l'excédent de la matière organique colorante consiste en acides humiques qui sont sans doute, pour la plupart, combinés à différentes bases minérales.

Le sable plombifère est relativement pauvre en pareilles combinaisons solubles dans l'acide chlorhydrique étendu. Il doit être, à cause de cela, considéré comme une couche de terre extraordinairement maigre. De là, les acides solubles descendent vers le sous-sol, tout à fait comme sous le terreau, mais beaucoup plus vite ; on doit descendre à une profondeur 4 à 6 fois plus grande dans le sol sous le terreau que sous la tourbe, pour trouver en masse double la quantité d'éléments ordinaires et d'éléments inorganiques importants pour la nutrition des plantes. Toutes nos analyses concernent des formations de tourbe dans les forêts de hêtres de *Seeland* et on ne trouve pas d'amoncellement de fer dans la terre rouge (tableau II), alors qu'au contraire, la chaux, la magnésie et l'hydrate d'alumine semblent être déposés en plus grande masse que plus bas. Dans les formations du Jütland, analogues à l'*Ortstein*, par contre des masses apparemment très considérables d'hydrate d'oxyde de fer sont contenues dans cette couche. Les acides phosphorique et sulfurique existent aussi, comme dans la couche de terre rouge de landes, en quantité assez abondante. Ce genre de sol doit pour cela être considéré comme relativement riche en éléments nutritifs et, dans les endroits où il est meuble et sans cohérence, il y a aussi beaucoup plus de racines de plantes que dans le sable plombifère et le sous-sol.

---

1. Voir les analyses de Tuxen, au commencement.

Le hêtre en station sur la tourbe. — Les peuplements de hêtres sur le sol revêtu de tourbe ont une croissance lente ; les vieux arbres ont la cime desséchée, sont recouverts de mousse et présentent d'autres signes d'un état maladif. Pourtant, on rencontre encore souvent sur quelques formations de tourbe moins puissantes des peuplements actuellement souffrants, dont la forme et la haute croissance montrent clairement qu'ils ont été jadis parfaitement bien portants et même qu'ils ont dû avoir une croissance extraordinairement prospère. Ainsi que nous le verrons plus tard, on est conduit certainement à la conclusion que dans ce cas la formation tourbeuse est d'origine relativement jeune.

Quoiqu'on puisse reconnaître facilement que l'enchevêtrement incroyablement épais des racines qui forme un tissu dans la tourbe est de nature ligneuse, ce fut pourtant pour moi pendant longtemps une énigme de savoir sur quelles plantes devaient porter mes recherches à ce sujet, et je conjecturai tout d'abord que l'airelle, si fréquente, avait des rapports avec elle. Dans le fait, cette plante contribue aussi un peu à cette formation, mais en général dans une proportion relativement faible. Ce n'est que par des sondages réitérés principalement à des places où il n'existait pas la moindre trace d'airelle et où le hêtre était la seule plante arbustive, que j'arrivai à me convaincre que les racines d'une forêt de hêtres, même de croissance ancienne, forment elles-mêmes dans la croûte terrestre un tissu filiforme d'une épaisseur si extraordinaire, que l'on peut à peine, sans une observation spéciale, s'en faire une représentation claire. Plus saisissante encore pour moi fut l'observation que dans les anciennes et puissantes couches de tourbe, ce système de racines est presque la seule partie vivante de la racine. Dans la fosse d'argile mentionnée, représentée dans le profil VIII (fig. 2), je pus m'enterrer sous un vieux hêtre qui avait crû sur la tourbe. Je fis tomber de grandes parties de la couche superficielle de sable plombifère de la couverture de l'excavation et je trouvai que la couche ne contenait pour ainsi dire pas de racines de hêtre, mais que ces racines étaient rassemblées seulement en une masse brune supérieure formée de tourbe d'une épaisseur de 4 pouces ($0^m,1046$). Une seule racine de hêtre à moitié morte et sans ramifications s'enfonçait dans

le sol, à travers une couche de terre rouge sablonneuse, épaisse d'un pied et demi (0m,7846), jusqu'au sous-sol argileux. C'était donc une démonstration : 1° de ce fait que la couche intermédiaire, épaisse de 1 pied 3/4 (0m,8630), ne convenait pas pour la ramification des racines de hêtre, et 2° que toute cette formation puissante avait vraisemblablement pris naissance dans le courant du deuxième siècle d'existence de la forêt ; car la terre rouge était si dure et si épaisse qu'aucune petite racine n'aurait pu se frayer un chemin à travers. Sur des formations aussi fortes de tourbe, la forêt arrive, pour ainsi dire, à se tenir au haut du sol et tire en réalité sa nourriture de sa propre couverture. Enfin, les racines absorbantes fraîches se trouvent aussi de préférence au milieu des couches de feuilles supérieures et la plus grande partie de ce tissu incommensurable n'est plus en état d'assimiler la nourriture et doit être seulement considérée comme un reste non décomposé des organes de nutrition primitifs.

L'entière conception de ce fait ressort d'une recherche faite sur les pointes fonctionnelles des racines de hêtre.

Quand on prépare une des racines de hêtre finement ramifiée dans la partie supérieure de la tourbe entre les feuilles, on voit que plusieurs des radicules brun foncé et rugueuses se terminent en renflements blanchâtres[1] (fig. 4).

Cette partie seulement de la racine de hêtre, dont la longueur ne dépasse pas quelques millimètres, est recouverte d'un parenchyme d'écorce clair enflé, dont les cellules s'allongent en poils de racines en brosse, courts et clairs. Cette partie peu considérable de la racine est seule en état d'absorber la nourriture ; à une distance relativement faible de la pointe, les poils des racines sont morts, les

1. Ces observations ont été entièrement confirmées par les études extrêmement intéressantes communiquées par le Dr Frank, en 1885, sur le *Mycorhiza* du hêtre. Les pointes des racines gonflées du hêtre sont, d'après lui, un ensemble formé de racines de hêtres et de *Pilzhyphen*, qu'il appelle *Mycorhiza*, et il affirme qu'il existe une symbiose entre le champignon et le hêtre. [*Cfr.* Frank in *Ber. der Deutsch. bot. Gesellschaft* (*Rapport de la Société botanique allemande*), t. III, fasc. 4, et *Generalversammlung*, P. E. Müller, dans la *Botanische Centralblatt*, t. XXVI, année VII, n° 1.]

cellules du parenchyme de l'écorce, sèches et brunes, la couverture ridée et crevassée et recouverte partout d'une végétation des parasites inséparables, des fils de mycélium bruns, mais qui attaquent seulement le parenchyme de l'écorce morte (fig. 8). Mais on doit encore examiner exactement la partie restante, en apparence privée de vie, des radicules, pour comprendre comment cette masse confuse pourrait servir à l'arbre comme organe de nutrition. Les radicules brunes présentent au microscope un degré différent de transparence. Tandis que les tiges principales ne sont pas tout à fait opaques, les branches latérales brun noir apparaissent entièrement opaques. La dissection montre que cela repose sur ce fait que les vaisseaux et les cellules ligneuses de la tige principale sont claires et incolores et, vraisemblablement pour cette raison aussi, sont en état de servir à conduire les sucs, alors qu'au contraire les branches latérales sont en général brun noir, comme les cellules de l'écorce de la tige principale. Quoiqu'ainsi une grande partie de cette masse de racines soit réellement morte, les cellules qui conduisent la sève ont conservé leur fraîcheur et sont, pour cette raison, en état de fonctionner comme canaux conducteurs des liquides puisés par les fines pointes des racines.

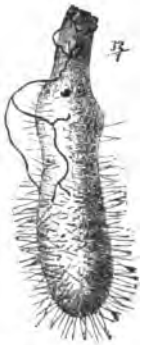


Fig. 8. — Pointe d'une racine de hêtre avec le parenchyme de l'écorce gonflé. Dans les couches mortes de l'écorce de la partie supérieure, fils bruns de mycélium.

Nous retrouvons dans le terreau la structure des racines d'aspiration (radicelles) (*Saugewurzeln*) du hêtre, seulement avec cette différence, que les parties qui ont cessé de fonctionner sont rapidement abattues et détruites, tandis qu'elles se conservent dans la tourbe. D'ailleurs, cette structure des pointes de racines du hêtre, qui n'a, que je sache, été décrite par aucun autre, est si particulière et si différente de celle des racines de la plupart des autres arbres que j'ai eu l'occasion d'étudier, que, sans aucun doute, elle doit être comptée pour une part dans le pouvoir qu'a l'arbre de développer une masse merveilleuse de racines que nous n'avons trouvée, en semblable manière, que dans les plantes éricinées (*haidekrautartige Pflanzen*). Parmi les essences forestières, le pin semble donner une

faible image du système de racines du hêtre qui vient d'être décrit.

Le mycélium noir ne croît pas seulement sur le parenchyme de l'écorce morte, mais toute l'épaisseur de ce parenchyme est tissée par ce champignon et semble tout à fait aussi inséparable des racines de hêtre que les lichens blancs bien connus des troncs de hêtre; pourtant on ne doit pas toujours le considérer comme un parasite importun et dangereux.

Comme nous l'avons vu, la partie de la racine qui absorbe la nourriture est très petite et les cheveux de la racine sont extraordinairement courts et fins, si bien que les racines de hêtres ne viennent en contact qu'avec une surface relativement petite du terrain. A cause de cela, il doit être d'une grande importance pour cette plante que les particules de terre soient liées d'une façon compacte aux racines, pour donner à celles-ci une facilité plus grande de former autour d'elles un petit sac de terre (*Erdsäckchen*) qui, en général, se forme par l'adhésion des cheveux des racines, longs et flexibles, et des particules de terre; cela paraît aussi, quoique moins parfaitement, devoir être produit par le parasite de la racine de hêtre, le mycélium de la famille des cladospores (*Cladosporien Mycelium*). Quand on déterre avec précaution un jeune plant de hêtre et un de frêne, principalement sur un sol un peu sableux et sec, on trouve les fines racines des deux entourées de terre fortement adhérente. Mais la préparation faite soigneusement montre que chez les racines de hêtre, l'adhérence tenace de la terre est due réellement au mycélium, tandis que chez les racines de frêne, qui, aussi loin que mes recherches aient été poussées, ne donnent pas asile à ce champignon, elle est due aux cheveux de racines, grands, enchevêtrés et clairs comme le verre. Sur le sable sec et meuble, le mycélium du hêtre doit être d'une utilité particulière, son tissu épais doit certainement augmenter l'hygroscopicité du sol et, en transformant en une masse tenace tous les restes organiques dans la terre, il doit contribuer efficacement à la formation d'une couche d'humus suffisante, qui, sans lui, se formerait difficilement à de pareilles places.

Les observations communiquées plus bas, faites sur la plantation

de Hornback (*Hornbäcker Plantage*), sur le sable mouvant, démontrent ce fait. D'autre part, il n'est pas douteux qu'un développement aussi énorme de ce mycélium doit donner une autre direction à l'humification que celle qu'elle prend dans des couches de terres où, comme dans le terreau, les tissus de mycélium clairs, fins, facilement décomposables et vraisemblablement riches en azote, sont prépondérants.

Autres organismes. — Déjà au premier coup d'œil on s'aperçoit qu'une différence importante existe entre la vie animale dans le terreau et dans la tourbe, car aucun tas de taupe ne rompt la superficie plane de cette dernière. La taupe, ainsi que sa victime, le ver de terre, n'existent jamais dans les formations de tourbe proprement dites; une seule fois, j'ai trouvé un exemplaire d'une sorte de petit Enchytreus dans la tourbe, où il était probablement tombé par hasard. On ne trouve du reste, relativement, que très peu de morceaux ou d'excréments d'insectes, si même ils ne font pas complètement défaut; mais tout le monde d'insectes qui s'agite dans une forêt de hêtres doit pourtant aussi laisser sa trace dans la tourbe, mais on ne peut pas conclure d'après cela à une vie animale dans la tourbe. L'entomologiste professeur Schiödte à qui je communiquai cette remarque m'a confirmé ce fait que le sol de tourbe était considéré comme un champ stérile par les entomologistes. A l'exception de quelques trous creusés par des taupes, je n'ai trouvé dans la tourbe aucune trace d'animaux autres que quelques crustacés indigènes, Oniscés et Julidés (*Oniscen und Juliden*), ainsi qu'en quantité assez considérable, différentes formes de quelques représentants des vers, très petits et en partie microscopiques, qui se tiennent à la plus grande profondeur, des formes des groupes des gordiacées et anguillules.

La tourbe de hêtre doit être d'après cela regardée comme un dépôt de couverture des forêts de hêtres extraordinairement pauvre en vie animale, qui est transformée en une tourbe tenace par les racines de hêtres et un champignon mycélium très résistant. Sous cette tourbe, la superficie du sol est désagrégée en sable plombifère et terre rouge qui, suivant le développement de la formation, embrasse une plus ou moins grande partie de la puissance totale du sol.

Formations de passage.

Tourbe terreau (*mullartiger Torf*). — La couverture uniforme produite par la tourbe sur de longues superficies de sols forestiers est pourtant de côté et d'autre entrecoupée par des taches, dont la végétation fait présumer un caractère différent du sol. Ainsi, on peut voir, principalement dans les enfoncements et les cavités hémisphériques, tantôt de petits bosquets de framboisiers, tantôt des groupes de jeunes hêtres prospères qui se détachent nettement des petits plants de hêtres rabougris, qui çà et là prolongent leur existence sur la tourbe.

Par un examen attentif de ces oasis, je me suis affermi encore à un plus haut degré dans la conclusion que j'ai tirée de mes autres observations sur la signification qu'ont les organismes animaux pour la formation du terreau.

Dans ces petits bosquets de framboisiers ou groupes de jeunes hêtres vigoureux, j'ai rencontré premièrement un terreau excellent, sans qu'il fût possible de trouver dans la nature du sol même aucune raison qui expliquât que la décomposition des restes organiques sur ce point, qui n'avait qu'une étendue d'environ 690 mètres carrés, soit $0^{ha}69^{a}03^{c}$, dût s'accomplir d'une autre façon que dans les grandes surfaces de tourbe environnantes. Mais je n'ai jamais examiné une pareille oasis de terreau sans y trouver des vers de terre en quantité considérable, tandis que dans les étendues limitrophes il n'en existait aucune trace. On est donc près de conclure que les vers de terre de l'un ou de l'autre sous-sol se sont tenus longtemps dans ce point et ont eu leur existence assurée par l'ombre et la protection que prêtait au sol la végétation luxuriante du terreau reconstitué. Ces taches de terreau apparaissent souvent dispersées sur le terrain et on les rencontre aussi bien au sommet des collines qu'au fond des vallées.

Mais deuxièmement une formation tout aussi différente du terreau que de la tourbe existe sur de telles places fertiles. La superficie du sol semble aussi moelleuse sous le pied que le terreau et ne présente pas au creusage une consistance plus grande que celle que

les nombreuses racines de hêtres qui courent à la surface peuvent posséder. La couche supérieure, qui souvent atteint une épaisseur de 4 à 6 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1569$) et au-dessus, a une couleur brun foncé et n'a pas l'apparence terreuse de la tourbe proprement dite. Les feuilles forment une couverture meuble ; mais, si l'on écarte cette couverture, on ne voit pas la superficie de la terre graveleuse, qui caractérise si bien la place où agissent les vers de terre. Les dépôts humiques qui existent sous les feuilles apparaissent comme des amoncellements de sciure fine et brun foncé, mélangés avec des restes plus grossiers de fragments de feuilles, petites branches, enveloppes de fruits de hêtre, etc.; à travers tout cela, des racines de hêtres serpentent en grande quantité sur la surface même, mais ne forment pas l'épais réseau si particulier à la tourbe. Mais tout à fait comme dans la tourbe, les pointes extérieures des racines sont souvent attachées intimement aux restes de feuilles et d'autres résidus organiques.

Si l'on délaie dans une capsule avec de l'eau un peu de la farine fine qui compose la masse principale de cette forme de terreau, elle se divise en une masse infinie de petits morceaux et de grumeaux qui généralement sont beaucoup plus petits que ceux dans lesquels la masse de la forme proprement dite du terreau se délaye, mais cependant ont une grandeur variable. Les grumeaux mêmes sont très tenaces, ne se laissent pas comprimer avec la plaque de verre, et ce n'est que quand on les broie fortement entre cette plaque et le verre de l'objectif qu'ils se décomposent en leurs éléments. Ceux-ci sont presque exclusivement de nature organique et de grandeur tout à fait égale et sont entremêlés seulement avec une masse entièrement évanescente, presque exclusivement microscopique, de parties inorganiques. Par suite de la masse extraordinairement grande de morceaux de chitine provenant des insectes, mélangés avec les éléments de cette forme de terreau, aussi bien qu'en vertu de leur structure et de leurs éléments, on est autorisé à admettre que ces dépôts consistent principalement en excréments d'insectes ; les petits débris microscopiques, tous de grosseur égale, dont les grumeaux sont composés, sont purement de petites parties d'éléments végétaux et chaque petit grumeau représente une partie enlevée tout d'un coup du contenu des intestins de petits insectes. Je n'ai jamais trouvé de

vers de terre dans les formations bien nettes de cette sorte, qu'on pourrait appeler terreau d'insectes (*Insekten-Mull*) d'après son origine ou tourbe de terreau (*mullartiger Torf*) d'après ses autres caractères. Même dans le terreau d'insectes, les racines de hêtre sont accompagnées d'un mycélium brun foncé et un grand nombre de petites extrémités de racines forment un tissu avec l'épais réseau de mycélium et les résidus de feuilles. Aussi bien au milieu de la farine brune que dans les petits grumeaux mêmes se trouvent de grandes masses de fils noirs, mais qui sont presque tous brisés par les dents en petites parties très fines ; le canal digestif des insectes ne peut pas détruire, plus que celui des vers de terre, ce tissu presque impérissable ; mais il peut seulement empêcher la transformation de la superficie du sol en un feutre analogue à la tourbe. Je ne connais jusqu'à présent qu'un petit nombre d'insectes qui agissent dans cette forme de terreau, et ne puis citer que quelques larves de *Diptera* et de leurs ennemies, les larves *Elater*. On y trouve aussi les espèces de vers semblables aux anguillules (*anguilluleartig*) qui existent dans le terreau.

Un des échantillons analysés par M. Tuxen, provenant d'un enfoncement à Strandskov (Teglstrup Hegn dans Seeland) [profil IX], renferme une plus grande quantité de matières organiques qu'aucune des autres espèces de sols analysés ; en ce que la quantité d'humus conjointement avec l'eau chimiquement combinée, atteignait 62,5 p. 100, le taux d'acide humique libre soluble dans l'eau s'élevait à environ 2 p. 100. Cette grande richesse en matière organique dans le terreau d'insectes, en comparaison avec la teneur du terreau façonné par les vers de terre, démontre que là manque le facteur qui ici a opéré le mélange des restes végétaux divisés et à moitié détruits avec la terre minérale elle-même. Le travail que ces deux groupes d'animaux produisent par leur procédé de nutrition est par conséquent au plus haut point différent et le terreau d'insectes doit être d'après cela considéré comme une tourbe divisée par les insectes.

Leurs actions s'étendent, cependant, beaucoup plus loin que la couche superficielle du sol. Sous les tas d'une épaisseur de 4 à 6 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1569$) de terreau d'insecte véritable, la terre n'est pas, à proprement parler, meuble comme là où le ver de terre

habite. Le sol est compact et difficile à travailler à la bêche. A *Strandskov* existe, immédiatement au-dessous du terreau et sans délimitation bien tranchée, une couche grise, épaisse de 3 à 4 pouces ($0^m,07846$ à $0^m,1046$) de couleur de terreau clair, inégale, tachée et ondée avec peu de racines de hêtres. Celle-ci repose sur une couche également tenace et d'une épaisseur de 2 à 3 pouces ($0^m,052$ à $0^m,078$) de couleur gris-rouge brun avec des limites confuses et dessus vient le sous-sol jaune d'ocre. La couleur et les conditions de gisement ont tant de points communs avec les couches inférieures de la tourbe qu'on est certainement autorisé à dénommer ces couches terre rouge et sable plombifère, malgré leur cohésion ordinairement beaucoup plus grande, leurs délimitations beaucoup moins nettes, leurs fortes dimensions variables, et d'autres conditions différentes.

Si l'on examine ces couches de terre à la loupe, elles montrent des rapports de structure tout à fait semblables à ceux de la partie claire, superficielle du sous-sol gisant sous le terreau. Elles ressemblent à un tuf un peu tenace avec de nombreux canaux entrelacés, des ouvertures et de petites excavations; la compacité ne provient pas pour cela de l'épaisseur de la couche, mais bien de la cohésion de ses parties. La recherche de Tuxen a montré qu'elle doit être attribuée à l'acide humique qui sert de lien entre les particules de terre.

Une étude plus exacte des grumeaux produits de la décomposition du sable plombifère et de la terre rouge sous le terreau d'insectes, montre que tous les canaux entrelacés et les petites excavations sont doublés dans cette masse par une couche fine, riche en humus et argileuse, évidemment déposée par l'eau qui s'écoule à travers. Le microscope montre de plus qu'il existe une certaine différence dans la teneur de la terre rouge et du sable plombifère en matières humiques. Dans la terre rouge, elles forment le plus souvent, sur chaque petit grain de sable, une sorte de couverture rouge brun et donnent par cela même sa couleur à la couche. Dans le sable plombifère, au contraire, elles sont en plus grande partie déposées sous forme de particules humiques fines, brun noir, au milieu des éléments minéraux. Il semble que, dans le sable plombifère, elles ont été en partie extraites par l'eau de la couche superficielle

du terreau et, par contre, dans la terre rouge, elles se sont précipitées de préférence sur les grains de l'eau d'infiltration qui renfermait l'acide humique et les humates.

Je n'ai pu indiquer aucune végétation caractéristique du terreau d'insectes ; la plupart des espèces végétales qui croissent dans les forêts de hêtres peuvent se trouver ici, quand les couches atteignent une plus grande puissance; pourtant l'airelle paraît bien réussir sur un pareil terreau divisé et son développement ne diminue que dans la tourbe compacte. La croissance du hêtre n'est pas à la vérité aussi bonne que dans le terreau proprement dit, mais beaucoup meilleure que sur la tourbe.

Tourbe sans masse de racines. — Sur de plus petites places, aussi bien dans les sols de tourbe que dans les parties sablonneuses, élevées et sèches, dans les forêts de hêtres riches en terreau, la couche superficielle du sol conserve un état un peu différent. A la pression, elle semble avoir une consistance analogue à celle de la tourbe, mais, si l'on se livre à un examen plus approfondi, on constate que sa cohésion est beaucoup plus faible et que la masse de racines caractéristique de la tourbe de hêtres fait défaut. A cause de cela elle se laisse facilement déchirer, mais les particules ont pourtant une forte cohérence, comme si elles avaient été liées ensemble les unes aux autres par une toile d'araignée invisible. Le microscope montre que le lien consiste ici presque exclusivement en un mycélium noir brun qui s'est étendu librement des racines du hêtre jusqu'à la superficie du sol et a enlacé celle-ci en une masse gris-noir de faible puissance de un demi à trois quarts de pouce ($0^m,01307$ à $0^m,01961$). Je n'ai jamais trouvé de ver de terre à de semblables places.

On trouve des conditions analogues dans le sol qui porte les plantations de hêtres sur le sable mouvant de *Hornbäcker Plantage* dans *Seeland*. Là, le sable mouvant porte à certaines places une plantation de hêtres dont la croissance est relativement très bonne et qui, à l'âge d'environ 20 ans, ont atteint une hauteur de 15 à 20 pieds ($4^m,708$ à $6^m,277$). Le sol sur lequel ils croissent paraît cependant être un peu moins meuble que le sable sur les endroits nus en dehors des plantations, et l'examen microscopique montre que le lien

est aussi produit ici par un développement extraordinairement riche du mycélium noir brun, qui s'étend librement des racines de hêtre dans le sol, enveloppant de ses fils des parties d'insectes et les racines de hêtres de constitution encore normale ; il a pu çà et là lier solidement, à la superficie du sol, une feuille ou une tige de graminée. Là aussi, le ver de terre fait complètement défaut et je pense que ces parties, si l'homme ne porte pas une main destructive sur le développement naturel des phénomènes, se transformeront immanquablement en tourbe typique.

Tourbe de mousse. — On voit fréquemment sur de plus petites parties, dans les forêts de hêtres, le sol recouvert d'une couche compacte et cohérente et noirâtre, d'une puissance restreinte, un demi-pouce à un pouce et demi ($0^m,01307$ à $0^m,03923$), dans laquelle la masse de racines particulière à la tourbe de hêtres fait défaut et où aussi le mycélium noir-brun ne joue aucun rôle prépondérant, quoique pourtant il s'y trouve également. En revanche, il existe un autre tissu qui a une très grande extension et dont la couleur varie du jaune-brun au brun foncé, dont le rôle semble être celui que joue ordinairement le tissu de cladospores ; car il enlace de la même façon et il enserre des écorces de fruits, des couvertures de bourgeons, des petits morceaux de feuilles et d'autres restes organiques qui forment la couverture des forêts. Les parois de leurs cellules obliques caractéristiques et leur contenu granuleux montrent que ce sont des fils de Thallus mousseux.

Ce dernier semble ainsi jouer le rôle principal à de telles places, dans ces formations de tourbe plus faibles, de moindre cohésion que celle de la tourbe de hêtre et accompagnées d'une formation de sable plombifère qui fait pourtant souvent défaut. Le mycélium noir-brun qui, là aussi, ne manque pas complètement, enlace et entoure de son tissu les restes de mousse morts, les débris de feuilles et de tiges, tout à fait comme la couverture dans la tourbe de hêtre; parfois la superficie de la tourbe de mousse présente un aspect tout particulier, comme des places noires, presque brillantes ou visqueuses, qui, après une longue saison humide et avec un certain éclairage, tirent sur le vert. Ces places noires sont formées d'une tresse crustacée et le microscope montre que la lueur verte qu'a

la superficie de la terre par un temps humide est produite par une grande masse de corpuscules qui doivent être certainement considérés comme des algues.

Aux places extraordinairement sèches et pauvres en terreau, où j'ai trouvé surtout les différentes formes de la tourbe de mousse, la forêt de hêtres est en aussi mauvais état de croissance que sur la tourbe de hêtres proprement dite ; le sol est compact et c'est en vain que j'y ai cherché des vers de terre.

Dépôts humiques mélangés. — Dans ce qui précède, j'ai cherché à décrire les formes particulières de terreau et de tourbe que j'ai observées. Mais, dans la nature, ces types et ces variétés se présentent, dans un nombre infini de cas, avec des caractères beaucoup moins bien définis qu'on ne pourrait l'admettre d'après la description précédente. La forêt de hêtres présente, à franchement parler, la variété la plus bigarrée de formes de transition. Ainsi la tourbe est plus ou moins travaillée par des insectes, et pour cela, est bien loin d'offrir partout la même consistance et la même ténacité. La végétation de l'airelle semble être en relation avec ces conditions, car elle est plus faible ou fait complètement défaut sur la tourbe tout à fait compacte. Le Thallus mousseux rivalise à beaucoup de places avec le mycélium noir, pour tisser le sol, et enfin le développement plus puissant ou plus faible et plus sporadique de la faune des vers de terre produit une grande série de formes transitoires entre le terreau et la tourbe. Cela se voit aussi dans le développement fort différent de la végétation des phanérogames et des mousses. Dans les coupes d'ensemencement très étendues du Grand-Hareskov (Seeland) se trouve cette variété multiple des diverses formes de l'humus. Le sol semble en général apte à une formation de tourbe, mais celle-ci est seulement visible par places et l'on peut présumer, d'après le développement puissant et la haute croissance des anciens districts de hêtres, que nous avons ici une formation de tourbe à son début, d'origine relativement récente. Le sol est en général un peu compact, mais pourtant pas assez pour que la herse ne puisse pas être employée utilement, ce qui est tout à fait impossible dans les formations de tourbe en complet développement. La végétation luxuriante consiste principalement en *Asperula, Oxalis* et *Melica,*

mais, par-ci par-là, viennent s'ajouter l'*Aira,* le *Majanthemum* et la mousse, et là où ces derniers restent seuls, on rencontre sous eux des couches minces de tourbe avec des bandes de sable plombifère et de terre rouge. Parfois la limite n'est pas distincte ; on y trouve quelques tas de *Majanthemum* et d'*Aira* au milieu de plantes grêles d'*Asperula* et de *Melica ;* mais là où la mousse y était associée, on ne voyait presque rien des deux dernières plantes. On trouve une image analogue d'époque de transition dans beaucoup d'autres districts de vieilles forêts de hêtres, qui ont été plusieurs fois fortement éclaircies, dans beaucoup de lisières de bois sans protection et des collines dentelées faisant saillie, plantées de vieux hêtres. Je tiens pour extrêmement vraisemblable qu'elles indiquent une formation de tourbe à son début ou un développement plus lent et imparfait de cette forme d'humus.

Propagation et état naturel.

Il n'a pas été possible d'établir une relation entre la formation du terreau et de la tourbe avec la teneur de la terre minérale en sels alcalins solubles, chaux et analogues. Le terreau peut exister sur un sol très maigre, la tourbe sur un sol moyennement riche. Au contraire, il semble exister une certaine relation entre l'existence de ces dépôts et le degré d'humidité du sol.

Le terreau de hêtre bien caractérisé est très répandu dans nos forêts sur l'argile de galets, principalement là où le terrain ne s'élève pas en chaînes de collines dentelées, ou bien forme des excavations profondes et humides. De même sur l'argile réfractaire, le terreau se rencontre ordinairement partout où le sol porte une végétation moyennement vigoureuse. Il y forme pourtant des couches de moindre puissance et disparaît très vite aux places où la forêt en croissance est subitement éclaircie et le sol mis à nu. Mais le terreau ne fait pas non plus défaut sur le sable d'alluvion bien défini, où la forêt consiste en massifs élevés en bonne futaie pleine, ou bien quand la nature du terrain ou la direction de la pente est favorable au maintien du sol en état frais, comme sur les versants du Nord (par exemple dans le *Silkeborg Nordskov,* dans la forêt privée *Ryer,* à *Additkov,*

près *Salten-Langsö*, dans la forêt d'*Engelholm*, près Veile, et à beaucoup d'autres places dans le Jütland, ainsi que dans les forêts des côtes de la mer du Nord).

La tourbe de hêtre est au contraire beaucoup plus fréquente sur le sable d'alluvion que sur les sols forestiers argileux.

Dans une grande quantité de peuplements de hêtres dans les grandes étendues de forêts autour de Silkeborg, dans le Jütland, le sol est recouvert de couches de tourbe puissantes et étendues, et d'autres districts forestiers sur un sol analogue dans le Jütland montrent des propriétés analogues. Sur la partie sableuse, petite, bas placée au nord de la Fionie, avec du sol frais je n'ai rencontré de tourbe nulle part, tandis que nous la trouvons de nouveau avec un développement puissant dans les grandes forêts qui recouvrent le sable des pays de la mer du Nord, qui, par sa surface fortement coupée, a tant de points communs avec les terres jütlandaises. La tourbe existe bien ici assez fréquemment dans les districts de futaies pleines, mais elle se trouve de préférence dans les forêts claires ou dans les bocages, où le nombre restreint de troncs et la vilaine forme des arbres à couronnes basses prouvent d'une façon significative qu'ils ont été auparavant épuisés par la sylviculture.

Mais, en même temps nous trouvons par places, à certains endroits, cette forme des dépôts humiques avec un sol plus ou moins argileux ou un sous-sol argileux. Cela est particulièrement le cas des chaînes dentelées, en saillie, livrées à la merci du temps et situées vers l'Est et le Sud (*Folehaveskov, Jägersborghegn* dans *Seeland*) ou le long de la lisière des bois ouverts et mal protégés, en beaucoup d'endroits de notre pays. Les grandes et petites oasis d'argile qui se trouvent parfois dans les buttes sèches de sable, sont aussi très fréquemment comprises dans la formation de tourbe.

Parfois, cette formation se trouve notamment sous la forme travaillée par les insectes, aussi sur un tout autre terrain, sur un sol placé bas ou « acide ». C'est ainsi que la tourbe de terreau, développée d'une façon plus ou moins typique, couvre de vastes étendues de forêts humides, ou bien se rencontre dans des couches puissantes, dans les excavations encaissées, dans le terrain recouvert de terreau.

L'exploitation de la forêt semble exercer une influence importante

sur le développement de la tourbe et du terreau. On constate ce fait avec le plus de facilité là où les limites de démarcation entre ces deux sortes de dépôts humiques sont formées par des lignes tout à fait accidentelles ou artificielles, un chemin, une frontière de séparation etc., et j'ai toujours remarqué alors qu'une pareille ligne formait en même temps les limites entre deux modes de traitement différents de la partie de la forêt considérée. C'est pour cela que la formation de tourbe sporadique en question, prédomine dans d'anciennes coupes d'ensemencement délaissées, ou dans des coupes d'éclaircie par trop claires, dans les forêts où un enlèvement excessif des plantes a été pratiqué et à des endroits analogues.

Tandis que ces deux formes principales sont répandues sur de très grands espaces, la tourbe semble se former de préférence sur un terrain sec, éclairé, quoique planté tant soit peu d'arbres. C'est, par conséquent, une formation réelle de tourbe à sec (sur terrain sec). En outre, les formations tourbeuses se rencontrent dans les forêts humides, acides, qui, par leur développement et leur origine, se rapprochent de certaines formations humiques s'accomplissant sous l'eau, que Post a décrites sous le titre de « Dy », limon. Le terreau est donc principalement limité aux emplacements extrêmement frais. Je n'ai pu omettre d'associer ces observations avec le caractère de la vie organique aux endroits examinés, notamment avec l'apparition de la faune des vers de terre, surtout au point de vue de l'une de leurs conditions, le degré d'humidité, apparemment indépendant de la composition minéralogique du sol, pour les emplacements constitués de la même façon.

Je ne suis, jusqu'à présent, en état de communiquer les observations sur l'existence de la tourbe que sur le sable et l'argile, car, jusqu'aujourd'hui, mes recherches n'ont porté que sur un nombre trop restreint de terres marneuses et calcaires, pour que je puisse tirer de leur caractère des conclusions générales certaines.

La transformation du terreau et de la tourbe.

Passage du terreau à la tourbe. — C'est un phénomène tout à fait merveilleux et intéressant que l'on trouve parfois de beaux peu-

plements de hêtres en bon développement qui atteignent une hauteur de 80 pieds (25m,08) sur une couche de tourbe qui se développe elle-même puissamment, tandis que ni la nature, ni l'art ne peuvent produire une seconde végétation sur un pareil sol. La graine germe bien et les jeunes hêtres végètent pendant quelques années avec tous les signes d'un état maladif, mais meurent plus tard. Des étendues très considérables de forêts sur les sols sableux montrent un état peu prospère, tandis que le rajeunissement est en général facile sur le terreau. Aux places où la seconde croissance des hêtres réussit en petits groupes sur une surface tourbeuse, j'ai toujours trouvé du terreau ou tout au moins de la tourbe fortement divisée par les insectes. Il est donc à peine possible de tirer de cela une autre conclusion que la suivante : le sol aujourd'hui recouvert de tourbe l'a été autrefois de terreau, et l'époque de la transformation ne peut pas être antérieure à l'âge de la forêt de hêtres en croissance.

Il semble que la tourbe se développait plus facilement dans les districts très vieux ou anciens, dans lesquels la circulation de l'air sous les couronnes est plus forte et où la superficie, par conséquent, peut se dessécher plus rapidement.

Pourtant, il ne manque pas de jeunes peuplements sur les couches plus faibles de tourbe, principalement là où elles ont eu une situation sans défense ou sont seulement petites : elles ont alors toujours une croissance mauvaise et très lente. Quoiqu'il ne soit pas facile, sans un point d'appui historique déterminé, d'indiquer avec certitude la façon et le mode suivant lesquels le terreau s'est transformé en tourbe dans les forêts de hêtre, je puis cependant, en me basant sur des observations multiples, conclure que le sol est toujours plus exposé à la formation de la tourbe quand l'âge et l'épaisseur du peuplement diminuent. Ainsi dans le grand Hareskov (Seeland) une ligne de séparation, qui n'est pas le moins du monde en relation avec les différentes variétés du sol et du terrain, forme la frontière entre une jolie plantation de hêtres sur du bon terreau et le reste de la surface, portant une magnifique et ancienne forêt de hêtres, avec des arbres hauts de 70 à 100 pieds (21m,949 à 31m,385) : là apparaît une faible formation de tourbe et le rajeunissement est extrêmement difficile. Cinquante années environ auparavant, cette forêt

servait de coupe d'ensemencement, vraisemblablement peu d'années avant ou après que la forêt qui livrait les arbres mères (*Mutterbaum*) pour le perchis de hêtres eût été éclaircie. Il n'est pas vraisemblable que le sol des deux côtés de la ligne fût autrefois différent, et la formation de tourbe, commençant à se produire dans la forêt aujourd'hui ancienne, doit à cause de cela s'être développée depuis ce temps-là. Beaucoup d'autres observations semblables renforcent la conjecture que dans les forêts de hêtres bien formées, les formations de tourbe se sont réellement développées sous les peuplements qui croissaient dessus et ne peuvent être plus anciennes que ceux-ci.

Fig. 9. Profil X. Gribs-Skov. (Tumlinge-vang).

Mais le caractère du sol même conduit à la même hypothèse. Sous les couches de tourbe faibles existe, entre la terre rouge et le sous-sol, une couche intermédiaire parfaitement poreuse et bien mélangée, qui n'a aucun rapport avec la couche correspondante du terreau. Dans le *Tumligevang*, dans le cinquième district forestier de *Kronborg* (*Seeland*), existait autrefois un vieux district de hêtres, de belle apparence, mais avec des cimes sèches, qui depuis un temps très long avait servi de coupe d'ensemencement, sans qu'il ait été possible de produire une seconde croissance. Sa forme dénotait une excellente végétation au temps passé. La nature du sol est indiquée par le profil X (fig. 9). Sous une couverture de tourbe qui n'est pas particulièrement épaisse, avec la couche de sable plombifère et de terre rouge y appartenant, se trouvait une couche plus poreuse de même caractère que la couche supérieure du sous-sol sous le terreau, et qui descendait aussi profondément que cette dernière. En dessous se montrait un sous-sol un peu plus argileux et plus compact, dont la couche tout à fait supérieure avait une coloration claire. Abstraction faite de la couche supérieure, épaisse de 5 à 7 pouces ($0^m,1307$ à $0^m,1830$), la nature du sol ne diffère à aucun point de vue de celle que j'ai si souvent trouvée là où le bon terreau se trouve sur un sol plus léger avec une nombreuse population de vers de terre.

Il est d'ailleurs évident que là où les racines de hêtres participent si fortement à la formation de la tourbe de hêtre, une végétation de hêtres, quel que soit son développement, est en tous cas nécessaire avant que la tourbe de hêtre proprement dite puisse prendre naissance. Là où un sol de terreau est dépouillé une fois pour toutes de sa végétation forestière par un déboisement complet, ou bien dans les endroits où, au lieu d'installer une coupe d'ensemencement, on enlève tant d'arbres qu'il reste sur le terrain seulement quelques troncs disséminés, là cette formation ne peut se développer même quand le lieu réunirait les autres conditions favorables à son développement. La pleine lumière sur les sols forestiers riches en terreau provoquera promptement une végétation toute nouvelle de plantes herbacées qui, à leur tour, serviront à la préparation d'une nouvelle récolte dans une série rapide d'échanges répétés plusieurs fois. Dans ces conditions, le terreau conservera son caractère principal, et ne souffrira pas des altérations considérables en vertu des changements éprouvés par la vie organique qui se développe en lui, ou bien il croîtra une succession de plantes herbacées sur le sol qui se convertira en formation tourbeuse par cette végétation se terminant sous forme de bruyère, dont on parlera plus loin. Tout forestier expérimenté pourra constater cette marche du développement, que de nombreuses observations faites par moi sur des places délaissées et nues dans nos forêts m'ont permis d'établir[1].

Les changements de la tourbe. — La tourbe de hêtre proprement dite ne semble pouvoir donner naissance à aucune nouvelle végétation arbustive, quand la nature reste abandonnée à elle-même. Ainsi lorsque la forêt disparaît à cause des ravages soudains causés par l'incendie des landes et de la forêt, ou par l'irruption annuelle du vent sur les bords des forêts de l'Est, — une œuvre de destruction plus lente mais aussi plus inflexible, — alors le sol recouvert de tourbe cesse provisoirement d'être boisé. J'ai observé

1. La façon extrêmement intéressante dont se transforment les végétations sur une place déboisée dans une forêt de hêtres n'a pas été, à ma connaissance, jusqu'à présent, étudiée de près et doit être recommandée à l'attention des botanistes. Senft a fait quelques observations extrêmement jolies sur ce point dans une forêt de pins de l'Allemagne centrale. (Danckelmann, *Zeitschrift für Forst- und Jagdw.*, t. IV.)

deux sortes de végétation qui, dans ce cas, prenaient la place des hêtres.

Aussi bien dans les forêts de *Silkeborg* (*Jütland*) que dans celles des bords de la mer du Nord, on voit déjà un an ou en tous cas deux années après que la vieille forêt de hêtres a été coupée sur un terrain revêtu de tourbe, le sol entièrement recouvert d'*Aira flexuosa*. Cette plante, qui déjà se trouvait dans la forêt de hêtres consistant en massifs élevés en futaies imparfaites en nombreux tas isolés, s'étend, quand la pleine lumière a pénétré sur le sol des forêts, sous forme de couverture continue, dont le tissu de racines, épais et tenace avec des prolongements durs et pointus comme des aiguilles, fait une trouée dans la tourbe et la traverse de part en part. De telles places déboisées ou fortement éclaircies apparaissent en automne comme un champ de blé ondoyant, jaune-rouge, et les forestiers connaissent bien les difficultés presque insurmontables qu'ils rencontrent ici pour établir des plantations de hêtres. J'ai examiné la tourbe à une place à Gribsskov (Seeland) qui était recouverte de la plus épaisse et la plus luxuriante végétation d'*Aira flexuosa*, et où cette végétation s'était maintenue au moins pendant dix ans et vraisemblablement beaucoup plus longtemps, car dix années s'étaient écoulées depuis l'époque où les derniers arbres avaient été enlevés et le peuplement antérieur était resté au moins aussi longtemps extraordinairement éclairci. Le sol consistait en sable extrêmement argileux, d'une puissance considérable, et les couches gisant entre ce sable et la tourbe avaient conservé en apparence le même caractère qu'elles avaient dans la forêt de hêtres ; mais la plante étendait son réseau de racines profondément au-dessous de la couche de tourbe et une des propriétés de celle-ci s'était changée d'une façon très instructive. La masse noire était compacte, paraissait presque sans structure et faisait l'impression d'une boue épaisse. De l'analyse microscopique, il ressortit que presque tous les restes de feuilles, les écailles de bourgeons, fleurs, etc., que la tourbe de hêtre fraîche contient, étaient transformés en un limon dans lequel, à la vérité, on pouvait encore découvrir la trace des éléments de la composition originaire, mais où tout aussi bien les racines de hêtres que les déchets étaient transformés presque entièrement en une masse savon-

neuse. Cette dernière, autant que je pus le voir, ne renfermait pas un seul fil vivant du mycélium noir; mais d'une masse infinie de petits débris de ce mycélium, on pouvait induire combien il a été répandu et à quel point ce tissu est indestructible; une série d'années n'a pas réussi à le détruire.

Sans doute, la tourbe était encore extrêmement riche en acide humique libre et le ver de terre manquait encore, mais la couche elle-même était, à n'en pas douter, en état de dissolution; elle devait uniquement sa consistance et sa ténacité aux racines de graminées qui la cassaient en la traversant un grand nombre de fois, et à une série de larves et d'insectes que je n'ai jamais observés dans la tourbe de hêtre et qui, sans doute, sont appelés à seconder l'œuvre de destruction. L'aire et sa faune réussiront-elles à détruire peu à peu cette formation de tourbe et à rendre de nouveau la place habitable pour les plantes et les animaux? Cela ne peut être affirmé avec certitude, mais me paraît cependant très vraisemblable.

Mais une forêt de hêtres avec formation de tourbe peut aussi être remplacée complètement par la bruyère, comme cela arrive en plusieurs endroits au Jütland, mais comme aussi c'est le cas çà et là dans la partie Nord de Seeland.

Dans les forêts de hêtres jütlandaises, qui confinent plus ou moins immédiatement à des landes, les bords du côté Ouest, où les collines dentelées, faisant saillie dans la forêt même, montrent d'une façon très intéressante comment la lande, partout où son développement n'a pas été enrayé par les hommes, fait chaque année des progrès vers l'Est. La lisière de la forêt ouverte sans protection est ici toujours constituée par des arbres à cime desséchée ou dépérissants, et ceux-ci sont détruits ou renversés par l'action destructive commune du vent, des insectes et des champignons; la nouvelle lisière de forêt constituée présente, au bout de peu d'années, le même aspect. Au dire de l'habitant, la rapidité avec laquelle la bruyère s'étend doit être de la plus haute importance et, en beaucoup de places, celle-ci doit conquérir en une année plusieurs toises et plus. Sous les arbres à cimes desséchées, la bruyère croît luxurieusement et s'étend, autant que la lumière le permet, depuis la lisière jusqu'à quelques toises et plus à l'intérieur de la forêt. Plus à l'intérieur de

la forêt, où l'ombre est plus épaisse, la tourbe est couverte d'airelles ou de la végétation trientalique ordinaire et insignifiante, qui toutes deux doivent céder la place aux bruyères, quand la lumière est assez forte. Ainsi la tourbe de hêtre se transforme peu à peu en landes de bruyères, et il est à peu près hors de doute que les couches puissantes de sable plombifère et les formations d'*Ortstein,* qui parfois se rencontrent sous des landes relativement jeunes, n'ont pas été produites par celles-ci, mais bien par la forêt de hêtres, à laquelle elles ont succédé dans le sol. J'ai bien vu à de pareilles places la couverture de bruyère envahir le sol de terreau depuis les bords; cependant, la formation de tourbe doit favoriser à un plus haut degré le développement de la bruyère, notamment en empêchant que la forêt elle-même ne forme un bastion contre l'irruption de sa croissance et en excluant une série d'autres plantes qui pourraient tenir tête à la bruyère.

Étude comparative de la tourbe de hêtre et de la tourbe de bruyère.

Quand on connaît les formations de bruyères proprement dites, on doit, dans notre description des propriétés de la tourbe de hêtre et des couches qui l'accompagnent, trouver une analogie très grande entre les aspects du sol et ceux qui sont concomitants de la végétation des bruyères sur nos landes étendues du Jütland. Mais si l'on compare trait pour trait ces deux formations, l'accord est encore beaucoup plus surprenant.

Déjà la végétation parmi les plantes dominantes et les plus répandues (ici le hêtre, là la bruyère) est la même dans ses traits principaux. La *Trientalis* et l'*aire de treillis* (*Drahtschmiele*) sont aussi bien des plantes caractéristiques des landes de bruyères que des forêts de hêtres sur la tourbe ; jamais, ni le *Majanthemum bifolium,* ni la *Potentilla Tormentilla* même, ne font totalement défaut, et particulièrement on voit ces deux dernières plantes çà et là sur la lande découpée, qui a été aérée pendant deux années. De plus, comme on le sait, le sol des landes est recouvert d'une tourbe tenace et compacte analogue à celle des forêts de hêtres sèches et enfin

dessous se trouvent les couches connues de sable plombifère et d'*Ortstein* qui s'étendent sur la superficie du sous-sol jaunâtre avec une puissance parfaitement égale à celle des forêts de hêtres. Le caractère distinctif de la vie animale, plus évident dans la tourbe de hêtre, l'absence du ver de terre et de son compagnon la taupe, est, au dire des habitants des landes expérimentés, également manifeste pour la faune des landes.

L'accord entre ces deux formations n'apparaît pas seulement dans les grands traits, mais dans des faits de moindre importance. Ainsi, on observe à la loupe un tissu de racines absolument semblable dans la tourbe de bruyère et dans la tourbe de hêtres, et dans celle-là, ce sont des racines de bruyères qui forment le tissu serré et fin, si particulier à la tourbe. Si l'on ne connaît la bruyère que d'après nos étendues de landes, on pourrait croire que cette formation entrelacée des racines est particulière à la bruyère; mais il n'en est pas du tout ainsi. Là où les plantes recouvrent un sol qui a des propriétés tout à fait analogues à celles du terreau et où elles n'ont pas eu trop longtemps la domination sur le terrain, la bruyère étend ses racines aussi librement tout autour de la terre que le hêtre dans le terreau (par exemple sur le champ de *Oerholm,* dans le premier district forestier de Copenhague). Mais sur les étendues de landes plus anciennes se développe peu à peu la tourbe de hêtre, qui n'est en aucune façon caractéristique des landes jütlandaises, mais qui apparaît çà et là dans le nord de Seeland et, à la vérité, accompagnée du sable plombifère et de l'*Ortstein,* ou de la terre rouge, qui ont parfois une grande ténacité et une grande puissance (par exemple sur le sable mouvant des plantations de *Sonnerup* et *Aelling Plantage* dans le *Odsharde* dans *Seeland*).

Fig. 10. — Mycélium mousseux brun, durable, dans la tourbe de lande.

Si l'on soumet la tourbe de bruyère à une analyse microscopique, on est conduit à admettre que l'origine de cette formation est tout à fait analogue à celle de la tourbe de hêtre. Aussi bien les racines vi-

vantes que les racines mortes de bruyères sont traversées par un tissu de mycélium fin et lisse, de couleur brun foncé, analogue à celui de la tourbe de hêtre, mais qui réellement appartient à une autre espèce, car il est beaucoup plus fin, n'a pas des cellules bouclées aussi régulièrement construites que le cladospore de la tourbe de hêtre et a vraisemblablement un autre mode de ramification. Il semble que ce tissu plus fin se comporte de la même façon que celui-là ; il se détruit très difficilement et accompagne partout les racines de bruyères, même là où il n'existe aucune trace de formation de tourbe.

Aussi, dans la tourbe de bruyère, nous trouvons un travail plus ou moins fort exécuté par les insectes, et souvent elle contient une masse d'excréments et des restes de chitine d'arthropodes; mais ces couches n'atteignent pourtant jamais le même degré de porosité que dans la forêt de hêtres. Dans les landes, la structure de la tourbe est infiniment plus fine que dans les forêts. Cela tient en partie aux dimensions plus petites des restes de bruyères et en partie à la riche végétation de lichens qui recouvre le sol dans les landes et donne par sa décomposition, comme on le sait, un humus poussiéreux fin, qui augmente encore l'épaisseur de la tourbe de bruyère. Il faut certainement attribuer à ces circonstances le fait que les limites entre la tourbe et le sable plombifère dans la lande sont souvent plus confuses que dans la forêt de hêtres. La partie supérieure du sable plombifère est souvent fortement colorée en noir, principalement par de très fines particules d'humus semblables à du charbon, qui, vraisemblablement ont été transportées en bas de la tourbe dans le sable plombifère par l'eau et qui le colorent souvent en noir, à une profondeur assez grande, comme, par exemple, dans les affaissements où une affluence d'eau plus forte a lieu. Mais aussi dans la tourbe de hêtre, ces formations ne font pas complètement défaut, quoiqu'elles s'y trouvent plus rarement et à un degré moindre.

Si nous envisageons les propriétés chimiques de ces deux formes de tourbe, nous y trouvons aussi une concordance réelle. Les analyses de sols de landes faites par Tuxen[1], montrent qu'il y a dans la tourbe

1. *S. Tidskr. f. Skovbr,* t. I, p. 270 et 277. La teneur faible en humus, environ 13 p. 100, que renferme la croûte des landes prélevée de la plaine au voisinage du

des landes une teneur en substances organiques presque aussi grande que celle de la tourbe de hêtre, vu que la tourbe provenant des collines en renferme environ 35 p. 100. Ces deux couches humiques sont relativement riches en matières humiques acides, solubles dans l'eau froide[1] et aussi bien le sable plombifère que la terre rouge se comportent, au point de vue de leur teneur en matières humiques et de leurs caractères, de la même manière pour ces deux sortes de tourbes; seulement, la terre rouge de la forêt de hêtres dans les localités sur lesquelles ont porté nos recherches, est un peu moins riche en substance organique que la terre rouge de la lande. De plus, le transport des substances minérales solubles du haut en bas est, dans les grandes lignes, le même aux deux places, bien que la terre rouge de hêtres renferme une quantité beaucoup moindre de sels solubles que l'*Ortstein* des landes, ce qui est probablement en rapport avec la richesse plus grande du dernier en humus. Aux deux places, le sable plombifère est à un haut degré maigre et la terre rouge paraît plus riche en substances diverses qu'elle ne devrait l'être par rapport à la distance de la superficie[2]. Les couches inférieures de la tourbe de lande paraissent en somme présenter avec plus de netteté les caractères des couches correspondantes de la tourbe de hêtre.

Enfin, en ce qui concerne le gisement habituel de la tourbe de lande, on reconnaît là aussi un accord frappant avec celui de la tourbe de hêtre. Aucun des deux n'est lié à une espèce de sol déterminée. Nous trouvons, en effet, dans la lande, tout aussi bien que sous la tourbe de hêtre, des taches fortement argileuses, sur lesquelles la bruyère étend sa couverture uniforme, si bien que le creusage seul démontre que les différences les plus importantes dans les sols n'existent pas à la superficie. Alors que, sans doute, la plus grande partie de la lande repose sur un sol de sable maigre, il y a pourtant

---

pied Est du talus, peut s'expliquer par ce fait qu'elle avait pris du sable amené par le vent ; car, même sur la lande recouverte de bruyère, un sable mouvant prend naissance par un vent fort et les parties de la surface situées à l'Est des collines sont, par suite, dans le voisinage de celle-ci, exposées à l'afflux du sable.

1. Voir les *Analyses de Tuxen.*

2. Comparez les représentations graphiques de la publication mentionnée précédemment avec celles annexées à ce travail.

aussi de grandes étendues de ces landes sur des sols très argileux, comme, par exemple, dans la plantation de Lövstrup, dans le Jütland et, d'après une communication du capitaine Dalgas, dans la grande lande du couvent (*Klosterhaide*) sur la partie montagneuse entre *Lemvig* et *Holstebro*. Mais les formations de tourbe dans la lande et dans la forêt de hêtres ont en commun la masse particulière de racines, superficielle, de la plante arbustive dominante, et la situation sèche, ouverte et non protégée qui nécessairement exerce une influence considérable sur la vie entière organique du terrain, et notamment sur la partie de la faune importante pour la formation du terreau.

DISCUSSION

Des différentes formes d'humus.

Nous allons chercher, dans ce qui suit, à faire mieux comprendre la portée des observations précédemment décrites, en les classant dans la série de celles faites antérieurement dans les mêmes circonstances et qui sont particulièrement propres à éclairer la question. Nous commençons cette discussion par une étude plus détaillée des variétés de types d'humus observées.

La formation de l'humus est ordinairement envisagée comme une oxydation, une combustion des déchets de la vie organique à la surface et dans l'épaisseur de la croûte terrestre, et la chimie démontre que les décompositions chimiques qui font disparaître les restes des plantes et des animaux sont des phénomènes d'oxydation dont les produits finaux sont de l'acide carbonique, de l'eau, de l'ammoniaque, etc. Les plus récentes recherches faites en histoire naturelle ont démontré, en outre, à quel point les organismes les plus infimes provoquent et activent cette décomposition. Mais, en ce qui concerne spécialement le terreau, il n'a été fait jusqu'à présent qu'un très petit nombre de recherches qui puissent résoudre la question de savoir à quelle cause sont dues les variations si multiples du procédé d'humification sur un sol ferme. Le plus souvent, cette multiplicité a été attribuée à des causes climatériques et physiques analogues et en relation avec la constitution des restes désagrégés.

Cependant, le professeur Schiödte a affirmé dans la « *Tidsskrift for Skovbrug* », que le monde des insectes doit aussi jouer un rôle considérable dans la formation du terreau; mais les premières recherches véritablement exactes sur l'origine des diverses formes de l'humus ont été publiées par le Suédois Hampus v. Post dans son remarquable travail, trop peu mis à profit à l'étranger, et intitulé « *Nutidens koprojena jordbildningar*[1] ». Nos propres observations ne peuvent pas contribuer d'une façon notable à éclairer la nature des phénomènes chimiques qui s'accomplissent dans l'humification; d'autre part, bien que sur un domaine encore limité, elles apportent une contribution plus étendue à la notion acquise grâce au travail de Post, d'après laquelle la plupart des formes d'humus que l'on rencontre sur la terre ferme doivent être considérées comme consistant principalement en excréments animaux.

La *division mécanique des restes organiques* est la première phase de l'humification qui frappe tout d'abord les yeux.

Partout où, dans une forêt de hêtres, nous avons examiné les déchets (*Abfallmasse*), réellement divisés et en décomposition, nous avons constaté qu'ils avaient principalement le caractère d'excréments animaux et ces détritus forment des couches si puissantes que les dépôts humiques sont, dans beaucoup de cas, constitués par cette matière. Mais, à l'action divisante des animaux, s'ajoute celle des plantes saprophytes. La légion innombrable des champignons s'étend partout où se trouve la moindre trace de déchets de vie organique et son rôle consiste à délayer et à diviser encore davantage les parties les plus fines. Si nous ajoutons à cela l'action de myriades d'organismes inférieurs du règne des monères, qui, comme nous l'ont appris les recherches d'autres observateurs, peuplent ces détritus, il paraît hors de doute que cette première phase de l'humification est essentiellement l'œuvre des animaux et des plantes saprophytes.

Un autre fait vient encore à l'appui de cette thèse : le degré et le mode de division et, en même temps, la forme de l'humus semblent être en relation étroite avec la flore et la faune du lieu. Nous avons

1. H. V. Post, *Studier öfver Nutidens koprojena jordbildningar, Gyttje, Dy, Torf och Mylla* (*Kgl. Svenska Vetensk. Akad. Handl.* Bd. IV, Stockholm 1862).

vu plus haut comment certaines différences frappantes dans la vie organique, sur deux localités d'ailleurs absolument pareilles, occasionnent d'importants changements dans les altérations des types de terreau formés comme, par exemple, les petites taches produites dans les tourbières par le travail des insectes et des lombrics. De plus, on remarque que l'humus de même caractère, déposé en des endroits différents, présente une certaine concordance avec la vie organique du lieu d'origine. Enfin, un témoignage important, surtout à l'égard du rôle joué par la vie animale, nous est fourni par ce fait que plus la vie animale décroît en abondance et en intensité, plus est limitée la division des restes organiques, jusqu'au point où, cette vie animale s'affaissant au minimum, les restes organiques demeurent, même très longtemps, pour ainsi dire sans changement, ainsi que cela se passe dans les couches de tourbe les plus puissantes et les plus tenaces. Sans doute, ici, le pouvoir diviseur des champignons et l'influence des autres facteurs de la dissociation est indéniable ; mais leur action est beaucoup plus lente que là où la vie animale leur vient en aide.

H. von Post a montré que les masses brunes d'origine organique, déposées dans les eaux, se présentent sous deux formes principales : le limon (*Schlamm*) « Dy » et la tourbe (*Torf*), sans compter beaucoup d'états intermédiaires. Le limon se compose surtout d'excréments d'animaux aquatiques, mélangés de débris de leurs corps morts ; la tourbe, par contre, est formée de restes végétaux encore intacts avec une petite quantité de résidus d'origine animale. Ces deux formations répondent exactement au terreau et à la tourbe, si bien que, d'un côté le terreau et le limon, de l'autre la tourbe de marais (*Moor Torf*) et la tourbe de sol sec doivent être considérées comme des formes naturelles d'humus.

Dépôts organiques de couleur brune.

	SOUS L'EAU.	SUR LES TERRAINS SECS.
Restes entiers de plantes avec quelques débris d'animaux.	Tourbe de marais (*Moor Torf*).	Tourbe des hauts plateaux (*Hochboden-Torf*).
Débris d'animaux prédominants	Limon (*Schlamm*).	Terreau proprement dit (*Eigentlicher Mull*). Terreau d'insectes (*Insektenmull*).

Tout en étant obligé d'admettre, en général, l'exactitude des idées émises par Post sur la constitution du terreau, nous sommes néanmoins conduit par nos observations à conclure que cette forme d'humus présente des différences beaucoup plus accentuées que celles qu'il signale. Ce que l'auteur en question désigne sous le nom de « terreau des bois feuillus » (*Laubholzmull*) correspond surtout à notre terreau d'insectes. C'est une matière dont la couleur va du brun foncé au noir-brunâtre et qui se compose principalement d'excréments insectes herbivores ; les deux analyses mentionnées donnent respectivement 15 et 61 p. 100 de matière organique, ce qui, en tout cas, concorde plus avec la composition de la tourbe en forme de terreau (*Mullartiger Torf*) qu'avec celle de tout autre type d'humus spécial à la forêt de hêtres. Par contre, un développement plus considérable de la vie animale, comme c'est le cas pour le terreau de vers de terre sur le sol frais, et une grande abondance de certaines espèces de champignons, coïncidant avec une limitation considérable du développement de la vie animale, peuvent, ainsi que nous l'avons vu, en présence d'une même végétation principale, donner naissance à des formes d'humus très différentes, lesquelles sont beaucoup plus éloignées les unes des autres que celles classées par Post sous le nom de terreau des bois résineux (*Nadelholzmull*), terreau des bois feuillus (*Laubholzmull*), terreau des champs (*Feldmull*), terreau des montagnes (*Bergmull*), etc.

Si l'on ajoute à cela que nous trouvons, sous une végétation de plantes de la famille des bruyères, en partie aussi dans les forêts d'épicéas, des formations d'humus tout à fait analogues aux deux formes principales constatées dans les forêts de hêtre, on sera sans doute porté à admettre la division fondamentale que nous avons adoptée pour les couches d'humus déposées sur les sols secs qui représentent, dans leur essence, une œuvre de division distincte de celle de la vie organique qui règne au-dessus d'elles.

Le *mélange des restes organiques* avec la terre minérale est la deuxième phase très apparente de la formation de l'humus. Cette phase s'accomplit suivant des modes très différents en présence d'une végétation principale identique. Le mélange en question est de la plus grande importance pour la fertilité de cette forme d'hu-

mus; ce ne sont pas seulement nos observations qui le montrent, mais c'est un fait généralement reconnu par tous les auteurs et l'existence du mélange est regardée comme l'un des meilleurs caractères des sols fertiles[1]. Le degré d'intimité et la constitution dudit mélange méritent donc, on le prévoit, une attention toute particulière. Senft s'exprime à ce sujet de la façon suivante : l'humus finement divisé vient-il à être mis en contact intime avec de l'argile mouillée, les deux substances adhèrent d'une façon si tenace l'une à l'autre, qu'une petite quantité d'humus s'unit à chaque particule d'argile, d'où il résulte un mélange noir qui, après une dessiccation lente, présente l'aspect d'une substance terreuse à grains fins, toujours humide et meuble, dans laquelle les particules d'humus peuvent persister pendant un grand nombre d'années. Un pareil mélange est le principal élément constitutif de ce que l'on appelle une terre d'humus (*Humuserde*)[2]. Cette manière dont un auteur estimé décrit le mélange des éléments du sol est certainement très correcte, mais comment ces corps, qui ont une si merveilleuse attraction l'un pour l'autre, viennent-ils en contact? Quelle est la cause du mélange? J'ai cherché en vain des explications dans la littérature actuelle. Il me semble que nos observations peuvent servir à nous donner certains indices précis à cet égard. Le mélange paraît présenter diverses formes et être dû principalement à trois causes, l'activité des animaux, la désagrégation mécanique par l'eau et les transformations chimiques jointes au pouvoir dissolvant de l'eau.

Le développement de la vie animale dans la croûte terrestre amènera nécessairement, en raison des tendances qu'ont les animaux à s'agiter en tous sens et à creuser le sol, un mélange des résidus organiques avec la terre minérale. Les insectes qui percent des tunnels, les larves frétillantes (*wühlende*), les mille-pieds, les arachnides, les landisopodes, etc., produiront toujours, conjointement avec les eaux des pluies et avec le vent, une désagrégation des particules superficielles et occasionneront aussi par là un mélange des détritus organiques

1. Voir, par exemple : Orth, *Geognostisch-agronomische Kartierung*. Berlin, 1875, p. 29.

2. Senft, *Humus, Marsch, Torf- und Limonitbildungen*. Leipzig, 1862, p. 21. — *Steinschutt und Erdboden*, 1867, p. 307.

et de la terre minérale. Toutes les formations de tourbe, depuis les plus compactes jusqu'à celles qui sont parfaitement poreuses et sans consistance, fournissent par leur teneur en sable et en argile des preuves de cette activité; mais elles témoignent en même temps qu'elle a des limites. D'après mes observations, il faut, dans la forêt de hêtre, l'intervention d'un élément plus actif pour que le mélange devienne un véritable terreau, et ce sont les vers de terre qui paraissent appelés à jouer ce rôle.

On pourrait être tenté de conclure, de ce qui a été dit plus haut sur le genre de vie de ces animaux, sur leur grand nombre, sur la concordance qui existe entre la structure de la couche la plus superficielle, remaniée en dernier lieu, avec la constitution de tout l'ensemble du sol végétal, que toute la partie de la croûte terrestre qui se trouve au-dessus du sous-sol a passé par les intestins de ces annélides, quoique, toutefois, beaucoup d'autres êtres ont dû aussi prendre part à l'œuvre de division. Les renseignements donnés par d'autres auteurs sur les mœurs des lombrics, notamment de ceux de la grande espèce, conduisent à la manière de voir susénoncée. Ainsi, Hensen[1] a montré que le grand lombric est seul en état de transformer en un terreau noir-brun la couche supérieure d'une masse de sable presque pur enfermée dans un pot à fleurs, lorsque le sable a été recouvert de feuilles et de détritus végétaux analogues pouvant servir d'aliments au ver. Darwin[2] et un autre auteur anglais[3] ont montré qu'une couche de décombres ou de charbon et de cendres, étendue à la surface du sol, peut se trouver, au bout de 10 à 20 ans, à deux pieds ($0^m,627$) de profondeur, uniquement parce que l'emplacement a été recouvert peu à peu des excréments du grand lombric mélangés de terre. Ici, comme dans l'expérience de Hensen, toute la couche supérieure du sol a dû passer par le tube digestif des vers et le sol a été retourné de fond en comble par leur travail. De plus, tout le monde sait que le gravier disparaît souvent rapidement dans les allées des jardins ou dans les interstices des pavés, parce que les vers le recouvrent de

1. *Passim.*
2. Voyez Fogh, *Lütken og Warming, Tidsskr. for pop. Fremst. of Naturv.*, 1870.
3. Rev. H. C. Key, dans *Nature,* 1877, p. 28.

terreau. Enfin, on trouve dans la plupart des jardins ou encore sur les vieux prés, pour peu que le terrain soit frais, une telle quantité d'excréments de ver de terre (*Regenwurm*), disposés par petits tas, farcis de nervures de feuilles et autres matières analogues, avec des restes de vieux tas disposés entre les tas récents, qu'il est évident que la couche de terre superficielle est formée d'une façon presque exclusive des excréments de cet animal à divers degrés de décomposition. En face de l'exacte concordance de structure qui règne entre la couche de terreau et la partie du sol immédiatement sous-jacente, songeons aux résultats qu'un pareil travail peut produire s'il s'accomplit pendant des siècles au même endroit : nous arriverons alors à admettre que la merveilleuse opération de mélange, dont le résultat est une terre véritablement substantielle, est due à l'activité des animaux dont il s'agit, et que, par conséquent, il en est ainsi également de la principale propriété de cette terre, de sa fertilité.

Mais ces observations ne peuvent que confirmer l'hypothèse que les multitudes de vers de terre existant dans le sol contribuent pour une très grande part à produire ce mélange, car, dans l'état actuel de nos connaissances, il n'est guère possible de mieux déterminer l'étendue de leur activité. Il y a pourtant deux faits que je n'ai pu mettre d'accord avec ceux que je viens de relater. Le premier se rapporte à la présence de diverses espèces de vers de terre. Le *Lumbricus terrestris* ne se trouve nullement dans toutes celles de nos forêts de hêtre dont le sol est recouvert de terreau ; il y a de vastes emplacements particulièrement riches en terreau, où on ne le rencontre pas. Par contre, le petit lombric du hêtre et les petites espèces du genre *Enchytreus* ne paraissent jamais manquer là où il y a du terreau ; mais leurs procédés sont très différents de ceux de la grande espèce et il est à peine croyable qu'ils coopèrent avec la même efficacité à l'œuvre de mélange, bien que leurs excréments renferment aussi une quantité de terre notable. Le lombric ordinaire, qui avale des particules terreuses, apparaît également, çà et là, d'une façon assez capricieuse, au moins en ce qui concerne le nombre des individus. Nous voyons donc qu'un sol peuplé très diversement au point de vue de la nature des espèces de vers de

terre et du nombre des individus, peut donner naissance à des types de terreau ayant tous en apparence la même constitution; on a dès lors de la peine à se rendre un compte plus exact de la mesure dans laquelle le travail de ces animaux contribue à la formation du terreau dans les forêts de hêtre.

A cela s'ajoute une seconde observation qui rend la chose encore moins claire. Si, comme le font supposer les travaux de Hensen, Darwin et autres, le terreau se compose en réalité de déjections de vers de terre, on ne voit pas trop d'où proviennent, dans les couches formées seulement par le genre *Lumbricus,* les pierres et les gros cailloux qui s'y trouvent, et qui, bien que moins abondants que dans le sous-sol, ne font pas défaut dans la partie travaillée de la croûte terrestre. Aussi longtemps que les mœurs des petits vers de terre n'auront pas été étudiées de plus près, il faudra se contenter d'admettre qu'ils se livrent, dans le terreau, à un travail de mélange très important, sans pouvoir fixer plus nettement la part qui revient à leur activité. Cependant ces objections ne sauraient guère affaiblir l'impression causée par le rôle grandiose des vers de terre, si l'on se rappelle que j'ai toujours trouvé de ces animaux dans le terreau, jamais dans la tourbe, et si l'on compare la structure des couches de terreau avec les excréments des vers de terre.

Dans un sol poreux, le pouvoir qu'a l'eau de désagréger mécaniquement les particules les plus fines, contribue aussi beaucoup à mélanger les éléments de la croûte terrestre. La manifestation la plus claire et la plus simple de ce phénomène résulte de ce fait que la quantité d'argile augmente avec la profondeur du sol; c'est là une constatation qui ne découle pas seulement des analyses mécaniques de Tuxen (tableaux I et II), mais qui est aussi parfaitement vérifiée par les recherches d'autres savants et par les travaux de Johnstrup [1], en Danemark, de Girard [2] et de Orth [3], en Allemagne. Il n'y a guère à douter que nous ayons affaire ici à un véritable limonage de l'argile

1. *Om Fugtighedens Bevägelse i den naturlige Jordbund* (*Kgl. D. Nidensk. Selsk. Skr. V. R.*, t. VII, p. 413, 447.

2. *Die norddeutsche Ebene* (*la Plaine de l'Allemagne du Nord*). Berlin, 1855, p. 98.

3. *Passim*, p. 15 et suiv.

et ainsi la pauvreté relative des couches supérieures en argile a été démontrée par les auteurs dont on vient de parler[1].

Qu'il y ait dans le sol une décomposition analogue des plus petites particules poussiéreuses du terreau, c'est une chose très vraisemblable en soi, mais elle ne s'établit pas évidemment à l'aide de chiffres aussi probants que ceux qui résultent des analyses mécaniques en ce qui concerne le limon. Cependant les couches du sol que nous avons examinées nous fournissent le moyen de prouver directement que l'eau facilite ce genre de décomposition des particules d'humus. C'est ainsi qu'en maint endroit, aussi bien dans les landes de bruyères que dans les forêts de hêtre, nous voyons la couleur noire de la tourbe ne pas se séparer nettement de la couleur blanche du sable plombifère; sous la tourbe proprement dite se trouve un sable extrêmement noir qui, au fur et à mesure qu'on descend, devient toujours plus clair jusqu'à ce qu'enfin il se soit transformé, insensiblement en sable plombifère blanc.

Cette échelle de couleurs n'embrasse souvent, là où elle se présente, que 1 ou 2 pouces d'épaisseur ($0^m,026$ à $0^m,052$); mais, quelquefois, elle descend plus profondément et donne à toute l'assise de sable plombifère une couleur noir gris. Ce fait se produit surtout dans les terrains bas et dans les dépressions grandes et petites où l'eau superficielle s'écoule de préférence. De l'analyse microscopique, il ressort que ce sable noir-gris doit sa couleur principalement à sa teneur en nombreuses petites particules des fibres végétales les plus délicates et à la substance appelée charbon d'humus (*Humuskohle*), qui s'y trouve sous forme d'une poudre plus ou moins fine, déposée en couches au milieu du sable assez pur. Ce phénomène est donc tout différent du mode de dépôt des matières humiques dans la terre rouge.

La couleur noire de la couche située immédiatement au-dessous de la tourbe et la diminution très rapide du nombre de particules d'humus, au fur et à mesure que la profondeur augmente, rendent très vraisemblable l'hypothèse que la terre sableuse a servi de filtre

1. La propriété qu'a l'eau de limoner et d'opérer des désagrégations mécaniques paraît être le seul facteur auquel Senft attache de l'importance au point de vue du mélange (*Steinschutt und Erdboden, etc.* p. 321).

pour retenir d'une façon régulière les corps solides entraînés par l'eau de pluie dans sa descente vers les profondeurs du sol. La différence de finesse du sable est sans doute cause que ce dépôt, opéré par la descente de l'eau (*Herabspülung*), peut s'étendre à une profondeur variable; mais il semble pourtant qu'il ne puisse pénétrer profondément dans le sol, qui n'est pas tout à fait dépourvu d'argile et qui contient un peu de sable fin; ensuite, le plus souvent, la partie supérieure de la couche de sable plombifère, sur une épaisseur de quelques pouces seulement, retient de beaucoup la plus grande partie de ces particules entraînées, quoique tout le sable plombifère en contienne aussi des traces. On peut faire des observations tout à fait semblables sur le filtrage des particules d'humus, en examinant à la loupe les couches fermes, mais poreuses, qui se trouvent sous le terreau proprement dit et sous la tourbe produite par le travail des insectes. Le long des parois des petits canaux qui distinguent ces couches, un très grand nombre de ces petites particules ont été déposées par l'eau. Les différentes couches du sol, jouant le rôle de filtres vis-à-vis de l'eau qui y pénètre, retiennent à la partie supérieure de la croûte terrestre les restes organiques les plus fins qui, par suite, forment des couches spéciales pulvérulentes ou, en tout cas, des matières humiques très finement divisées, qui sont principalement déposées entre les grains de sable. Quand la finesse de la substance terreuse diminue, ces couches gris-noir peuvent augmenter en puissance, mais sur un sol plus compact et plus ferme, la plus grande partie de ces particules d'humus est difficilement conduite par l'eau dans le sol à une profondeur de plusieurs pouces.

La couche d'humus, presque amorphe, qui se trouve dans la terre rouge, possède, comme on l'a indiqué plus haut, une tout autre structure. Elle ne consiste pas en corps définis nettement déposés entre les grains de sable, mais elle entoure chaque grain comme une enveloppe; mais, dans les sables très maigres (les dunes de sable des landes de Sonnerup et Aelling dans le Odsharde, île de Seeland), la matière humique recouvre même les grains de sable d'une sorte de vernis brun[1]. Si nous considérons de nouveau un de

1. Voir ci-après les analyses de Tuxen.

nos profils découpés dans la tourbe de hêtre, nous trouvons donc en haut une couche, dans laquelle le fin lacis des racines de hêtre et le réseau encore infiniment plus délié du mycélium enlacent si solidement la masse de détritus que l'eau qui imprègne ceux-ci ne peut emporter avec elle dans les profondeurs du sol rien autre chose que les particules d'humus les plus ténues et celles des substances humiques solubles. Les premières sont arrêtées par le filtre que constitue la partie supérieure du sable plombifère; au-dessous, ce sable est souvent blanc comme neige et, par conséquent, ne renferme qu'une quantité infime de restes organiques; puis, vient la terre rouge avec sa teneur souvent très considérable en principes humiques. Si l'on compare cette répartition des couches, conjointement avec des conditions très différentes de structure et de dépôt dans la partie supérieure du sable plombifère, avec la terre rouge, la seule conclusion qu'on semble avoir le droit de formuler est la suivante : c'est que l'origine des strates est variable et qu'elles sont produites ici par une lixiviation de haut en bas (*Herabspülung*) et là par une précipitation d'une dissolution. Tout paraît me conduire à penser que la teneur de la terre rouge en humus résulte principalement de ce processus; car, s'il est établi que la tourbe pourvoit le sol sous-jacent de substance organique et que l'eau est le véhicule de cette substance, il ne serait guère admissible que le véhicule en question, — le limonage étant, par hypothèse, le seul mode de décomposition, — pût arriver à remplir de particules d'humus la région supérieure de la terre minérale, n'en déposât presque plus immédiatement au-dessous et enfin abandonnât le reste dans une couche plus profonde [1].

S'il est donc possible de distinguer nettement, dans les couches du sol situées sous la tourbe, d'une part les résultats du pouvoir limonant de l'eau et, d'autre part, les effets de son aptitude à dissoudre et à former des dépôts, nous avons ici l'occasion d'étudier deux processus qui paraissent tous deux être, dans les sols dont il s'agit, des moyens de mélange très énergiques. On ne peut guère douter

1. Sur la teneur de la terre rouge en matière organique, voyez le chapitre intitulé : *Des différences que présente la couche supérieure du sol.*

que le mouvement des eaux dans les parties meubles immédiatement recouvertes par le terreau désagrège de la même manière les parcelles d'humus les plus fines. Mais que l'on compare la structure micrographique de la terre rouge avec celle des couches de terres meubles, colorées comme le terreau, qui se trouvent juste sous celui-ci, l'on ne réussira guère, malgré le nombre de grossissements qu'on peut obtenir dans cette circonstance (environ 450), à découvrir entre elles une différence sensible. Aussi n'ai-je point cru devoir écarter l'hypothèse que le troisième facteur du mélange, la solution et la précipitation des combinaisons formées par l'acide humide, intervienne ici comme dans la terre rouge. Les différents auteurs parlent de la présence, dans les sols riches en terreau, de « substances incrustantes » : cela prouve qu'ils ont eu une intuition vague de quelque chose d'analogue. Il semble donc très plausible que, dans le phénomène de l'humification, il se forme continuellement des combinaisons solubles qui, tantôt à cause de l'affinité chimique entre les éléments, tantôt à cause des divers degrés de concentration du liquide dissolvant, sont souvent dans le cas d'être de nouveau précipitées.

Il est, d'après cela, très vraisemblable que, parmi les forces inertes (*leblos*) qui effectuent, dans le sol, le mélange des détritus organiques avec la terre minérale, celles qui ont agi dans la tourbe et son support ont été les mêmes que celles qui se sont manifestées dans le terreau et dans la couche de terre superficielle qui en dépend. Puisque, malgré cela, le mélange s'est opéré d'une façon très inégale dans les deux cas, cela doit donc être attribué à l'activité inégale déployée par le troisième facteur du mélange, le groupe des êtres animés. Il semble, dès lors, que deux des différences les plus remarquables et les plus significatives que présentent les formes d'humus, l'inégal degré de division des déchets végétaux et l'inégal degré de mélange de ces déchets avec la terre minérale, aient pour cause des différences dans les phénomènes de la vie organique dont les emplacements correspondants sont le théâtre.

La forme d'humus. — Si, maintenant, nous voulons préciser davantage ce qui paraît être la caractéristique de chacune des deux principales formes de dépôts humiques dans les forêts de hêtre, il

faudra parler de la manière dont s'accomplissent la division et la dissolution des restes organiques, de la façon dont ceux-ci se mélangent avec les éléments minéraux de la terre et des phénomènes chimiques qui sont propres à chaque type. Quant à ce dernier point, la présente recherche a dû se borner à découvrir un symptôme caractéristique de la nature de la transformation, à savoir la présence d'acides humiques libres, solubles dans l'eau; nous n'avons pu étudier de plus près les procédés qui ont fourni ce résultat.

On pourrait peut-être baser là-dessus les diagnoses suivantes concernant les principaux types de dépôts d'humus observés dans les forêts de hêtre :

		Principalement produit de la vie animale dans le sol.	Principalement couche de terre végétale.
Ne renferme pas plus de 10 p. 100 de substance organique sans acides humiques libres et solubles, est bien mélangé avec la terre minérale, tant par le travail des animaux que par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion.	*Terreau proprement dit.*	*Echter Mull.*
Renferme 30 à 60 p. 100 de substance organique; renferme aussi des acides humiques libres et solubles; est mélangé avec la terre minérale d'une façon très imparfaite, à peu près uniquement par l'action de l'eau.	Parfaitement divisé, meuble, sans cohésion.	*Tourbe en forme de terreau.*	*Mullartiger Torf.*
	Imparfaitement divisé, ferme, tenace, cohérent.	*Tourbe proprement dite.*	*Echter Torf.*

Il est probable que la plupart des formes d'humus qui se sont déposées sur les terrains secs peuvent être ramenées à l'un de ces types principaux et que les nombreuses variétés et formes de passage qu'on observe doivent les particularités essentielles de leur structure aux emplacements où elles se trouvent, ainsi qu'à la flore et à la faune qui s'y rencontrent.

Des différences que présente la couche supérieure du sol.

Les couches supérieures du sol sous le terreau. — La couche de terre de 2 à 4 pouces d'épaisseur ($0^m,052$ à $0^m,1046$), foncée, grenue, qui se trouve tout à fait à la surface, est assez riche en principes inorganiques solubles dans des solutions étendues de sels acides. Il est vrai que nous n'avons qu'une seule série d'analyses

qui démontre ce fait (Profil I), mais, à première vue, c'est ainsi que les choses doivent se passer, attendu que cette couche renferme une grande quantité de déchets organiques imparfaitement décomposés, si bien qu'on ne peut guère douter qu'elle soit généralement riche en principes nutritifs des plantes.

Ce qui est beaucoup plus étonnant, c'est que nous trouvions immédiatement sous cette couche la partie la plus pauvre du terreau des forêts de hêtre et que, à partir de là, — autant que nous pouvons tirer une conclusion des analyses, — les principes solubles augmentent en quantité au fur et à mesure qu'on descend plus profondément. Il n'y a que la chaux qui paraisse être un peu plus abondante dans la partie superficielle que dans la partie inférieure du sol.

Il se peut que la présence de ce corps dans les couches de terre les plus élevées doive être attribuée, en majeure partie, aux feuilles qui tombent tous les ans et qui, ainsi que cela a été montré dans un autre travail [1], peuvent être regardées presque comme un engrais calcaire. Le fait que la courbe s'élève vers la surface (Planche I) indique peut-être la source dont provient une partie de la chaux que renferme celle des couches supérieures du sol riches en terreau. Sans doute, les cas où le sous-sol est un peu plus riche en divers éléments que le sol superficiel ne font pas absolument défaut. Mais, tantôt ils ont été signalés dans des champs cultivés où les récoltes ont épuisé les couches supérieures du terrain, alors qu'en forêt la majeure partie des principes inorganiques que renfermait la végétation, retournent au sol par la chute des feuilles; tantôt la différence constatée ici est si extraordinairement grande qu'elle mérite à un haut degré d'attirer notre attention.

Nous avons vu que, dans les localités où nous avons fait des recherches, la quantité d'argile augmente assez régulièrement avec la profondeur; ensuite, lorsque nous avons comparé nos chiffres à ceux de Johnstrup, qui reposent sur une série de recherches beau-

---

1. *Ueber die Bedeutung des abgefallenen Laubes für den Reichthum des Bodens an Pflanzennahrung* (Tidskr. f. Skovbr., II). [*De l'importance des feuilles tombées au point de vue de la richesse du sol en principes nutritifs des plantes.*]

coup plus complète, nous avons été obligé de considérer ce phénomène comme tout à fait normal; cela concorde, d'ailleurs, aussi avec les observations de Girard et d'Orth; enfin, nous n'avons pas de motif d'admettre que le fait pour lequel nous sommes en contradiction avec ces auteurs est dû à un limonage par l'eau [1]. Comme les sels solubles participent, en somme, au même transport que l'argile, il y a lieu de se demander si ce n'est pas également l'eau qui est cause de la pauvreté relative des couches supérieures du sol en composés solubles.

En ce qui concerne les deux corps dont le transport est le plus régulier, à savoir la chaux et le fer, cela ne fait aucun doute. C'est un phénomène connu de tout le monde, que l'eau chargée d'acide carbonique dépouille la couche supérieure du sol de la chaux qu'elle renfermait. Sans doute, les acides humiques retiennent la chaux, mais ces acides, en s'oxydant, en se transformant en acide carbonique dans les sols poreux et meubles, deviennent de nouveau solubles dans une eau chargée d'acide carbonique, et de nombreuses observations ont établi que la chaux est entraînée de cette façon hors des couches supérieures du sol. La même chose existe pour le fer [2]. Tantôt ce métal est lié si intimement à l'argile qu'il est entraîné en même temps qu'elle hors de la région superficielle; tantôt la décomposition des détritus organiques dans cette région provoque, comme on sait, la formation de carbonate d'oxydule de fer soluble, que la pluie entraîne en même temps que la chaux dans les parties profondes. Beaucoup plus irréguliers sont les transports de la potasse et de l'acide phosphorique; pourtant, l'on constate qu'ils suivent la même direction que l'argile, la chaux et le fer, bien que, d'après l'opinion généralement reçue, les premiers de ces corps doivent être retenus dans la croûte superficielle par le pouvoir absorbant de celle-ci. Nos recherches ne sont pas assez nombreuses et les notions qu'on possède sur le transport des éléments primordiaux dans ces sortes de sols riches en humus sont trop bornées pour qu'il

1. Orth semble, du reste, reporter une partie de ce *processus de limonage* (Ausschwemmungsprozess) à la fin de la période glaciaire et au soulèvement de la terre ferme (*Geogr. agr. Kart.*, p. 15 et suiv.)

2. Comparez Orth, *passim*, notamment p. 10, 14 et 30.

nous soit permis de remplacer par des hypothèses les observations positives qui manquent pour expliquer ce phénomène. Je n'attirerai donc l'attention que sur deux moments d'où il semble résulter, qu'en fait, la même cause qui a éloigné la chaux et le fer des couches supérieures du sol a pu aussi contribuer à y diminuer la quantité de potasse et d'acide phosphorique. D'un autre côté, sans doute, on ne saurait nier que la consommation de principes nutritifs que font les bois en croissance doive être pour quelque chose dans cette diminution, mais ce facteur ne peut cependant pas exercer une action très sensible sur le mouvement desdits principes; car il est inadmissible que la végétation consomme d'une façon si régulière, en allant de haut en bas, le contenu de son magasin d'approvisionnement. Le premier des moments est celui-ci : les corps absorbants eux-mêmes, l'argile et l'oxyde de fer, existent, comme nous l'avons vu, en beaucoup moins grande quantité dans les couches superficielles, et les éléments de l'humus eux-mêmes n'ont pas le pouvoir de retenir la potasse et l'acide phosphorique[1]. Il est donc probable, — lors même que cela n'est pas positivement établi, — que ces substances s'accumulent en plus grande quantité dans les régions inférieures, plus riches en corps absorbants. Mais à cela s'ajoute un second moment, à savoir que le pouvoir absorbant est affaibli par la présence d'acides[2]; il n'est point du tout absolu et de l'eau acidulée, notamment, enlève toujours au sol quelque peu des principes dont on vient de parler.

Enfin, nos analyses montrent que le terreau des forêts de hêtre doit forcément renfermer plus de substances humiques acides que la terre arable, parce que le premier agit comme un corps neutre, tandis que la seconde a une réaction alcaline; il est donc aussi probable que le terreau du hêtre est plus exposé à être lavé par l'eau de pluie que la terre cultivée, et c'est surtout le pouvoir absorbant de cette dernière qui a été l'objet de recherches.

L'idée que nous donnent les analyses sur la manière dont se com-

1. Knop, *Bonitierung der Ackererde*. Leipzig, 1871, p. 68. (*Classification des terres arables.*)

2. Knop, *passim*, p. 19. Comparez Forchhammer, *Om Marsk, Dynd og Torv*. (Tidsskr. f. Landökon. III. R. XIII. Bd. 1865, p. 321.)

portent les combinaisons solubles inorganiques dans un bon sol forestier est toute différente de celle qu'on se fait d'habitude, et les recherches que nous avons relatées suffiraient pour appeler l'attention des chercheurs sur ces phénomènes. Ainsi on a regardé les couches de terres meubles, possédant souvent la même coloration que le terreau et couvertes chaque année par les déchets de la forêt, comme très riches en principes nutritifs pour les plantes : or, cette conception n'est exacte qu'en ce qui concerne la région tout à fait superficielle, de 3 à 4 pouces d'épaisseur ($0^m,078$ à $0^m,104$), de coloration plus foncée que le reste, et qui renferme effectivement une grande partie des racines de hêtre et de végétaux constituant la couverture vivante du sol. Immédiatement au-dessous, le sol est relativement pauvre et sa richesse augmente au fur et à mesure qu'on descend.

La couche supérieure du sous-sol sous la tourbe. — Nos observations semblent pouvoir servir à jeter un peu de lumière sur les formations caractéristiques qui se produisent sous la tourbe, auxquelles on a accordé tant d'attention dans les landes et qu'on a expliquées de si différentes façons.

Quand on compare une coupe de terrain prise dans une forêt de hêtres où le sol est recouvert de terreau avec un autre profil prélevé également dans une forêt de hêtres, mais sous la tourbe, on s'aperçoit que, conformément aux explications que nous avons données, les différences ne paraissent pas être aussi grandes qu'on devait le penser de prime abord. La couche de tourbe correspond évidemment à la couverture meuble des feuilles mortes reliée à l'assise de 2 à 4 pouces d'épaisseur ($0^m,052$ à $0^m,1046$), formée par des excréments et des détritus végétaux plus ou moins décomposés. Au-dessous, nous trouvons, dans les deux cas, une couche superficielle où les quantités d'argile, de fer, de chaux et quelquefois d'autres principes inorganiques augmentent avec la profondeur. Les traits fondamentaux sont donc les mêmes de part et d'autre : mais, sous le terreau, le tout est mélangé ensemble, tandis que, sous la tourbe, il y a des couches distinctes dans lesquelles les éléments de l'humus jouent, en outre, un rôle un peu différent ; enfin, la maigreur de la partie supérieure de la couche superficielle du sous-sol

du sable plombifère est plus grande sous la tourbe que sous le terreau.

On peut probablement caractériser la différence qui existe entre le sable plombifère et la partie de la couche superficielle du sous-sol qui lui correspond sous le terreau de la façon suivante : dans le sable plombifère, les matières incrustantes font jusqu'à un certain point défaut, tandis que, sous le terreau, elles sont abondamment représentées. Comme, d'après les idées généralement admises, que ces matières sont précisément les plus riches en principes assimilables par les plantes et qu'elles sont, pour une large part, le siège du pouvoir absorbant du sol, la différence énoncée, que le microscope nous montre d'une façon indubitable, acquiert nécessairement une importance majeure. On comprendra comment cette différence peut prendre naissance si l'on se représente les changements qui se produiraient dans les couches situées immédiatement sous le terreau, si celui-ci se transformait peu à peu en tourbe.

Lorsque l'activité en vertu de laquelle les animaux divisent et mélangent les éléments du sol est fortement entravée, les détritus organiques, aussi bien que tous les autres, restent gisants à la surface du sol. Il ne se formerait donc pas de sable plombifère, — et la constitution du terrain dans les landes de bruyères, sous les touffes de chêne, en témoigne, — aussi longtemps que la bruyère n'aurait pas apparu ; en effet, dans ces endroits, les déchets des plantes ne se décomposent qu'à la surface du sol, sans qu'il se forme ni tourbe ni sable plombifère. Mais les choses se passent tout autrement quand le mycélium et les racines des hêtres ou des bruyères transforment les détritus organiques en tourbe, c'est-à-dire en un feutre tenace et résistant. Le sol devient alors imperméable ; la fraction des détritus qui se trouve à la face inférieure de cette couche ne peut recevoir de l'atmosphère la somme d'oxygène nécessaire pour se décomposer ; il en est de même des acides humiques et de leurs combinaisons qui s'infiltrent avec l'eau de pluie et se changent en acide carbonique et carbonates ; les uns et les autres sont donc obligés d'emprunter de l'oxygène à ceux des composés inorganiques qui renferment la plus grande quantité de ce corps simple, notamment à l'oxyde de fer. Il se forme alors des sels d'oxydule de fer, facilement solubles,

qui sont entraînés par les pluies hors de la couche de terre superficielle, de sorte que celle-ci perd peu à peu sa couleur primordiale, due surtout à l'oxyde de fer. En même temps que l'hydrate d'oxyde de fer disparaît, cette couche, essentiellement maigre, perd une grande partie de son pouvoir absorbant; sur un sol sableux elle perd peut-être la majorité de ce pouvoir et les acides humiques, et les sels ammoniacaux que forment ces acides existant dans l'eau de pluie, qui doivent prendre naissance en grande quantité dans la tourbe[1] et qui possèdent un pouvoir merveilleux de dissoudre les autres sels et même les silicates[2], pourront sans difficulté dépouiller cette couche de sol de sa matière incrustante et l'épuiser. L'influence de l'eau chargée d'acide humique sur la couche superficielle du fond, aussi bien sous le terreau que sous la tourbe proprement dite, comme nous l'avons admis ici, concorde tout à fait avec le rôle que Forchhammer attribue aux acides humiques dans les tourbières. Il fait ressortir que la pauvreté du sol des landes en principes nutritifs des plantes provient de ce que ces substances sont extraites de la tourbe par l'action dissolvante de l'eau chargée d'acides humiques, qui a eu sur le sol une action voisine de celle produite par de l'acide chlorhydrique étendu[3]. Est-ce que la vieille routine, qu'on entend souvent professer par les cultivateurs, que le vieux sol forestier est « mort » et qu'il ne peut être amené à une certaine force de production que relativement lentement, ne devait peut-être pas reposer sur ce fait que la croûte superficielle de la terre a perdu, dans le cours des temps, par le lavage par l'eau chargée d'acide humique une partie de son capital primitif de substances nutritives des plantes? Nos considérations nous conduisent donc à admettre que les formations de sable plombifère doivent être attribuées essentiellement à la destruction particulière des restes organiques qui s'accomplit dans la couverture de tourbe, avec exclusion de l'oxygène de l'air, conjointement avec l'action de l'eau.

---

1. Sur la teneur considérable des déchets en azote, voy. Schröder, *Untersuchungen über den Stickstoffgehalt des Holzes und der Streumaterialien, u. s. w.* (*Recherches sur la teneur en azote du bois et des matériaux de litière, etc.*) [*Allg. Forst- und Jagd-Zeit.*, 1877, p. 221].

2. Par exemple, Senft, *Humus*, etc., p. 29.

3. *Om Marsk, Dynd og Torv*, et *passim*, p. 321.

Cela nous conduirait trop loin, si nous voulions examiner point par point toutes les phases de nos observations, qui pourraient servir à éclairer la nature des formations de sable plombifère, mais je crois qu'elles trouvent leur explication complète dans la description précédente. Je veux seulement faire remarquer que la couche supérieure blanc-gris du sous-sol (*Untergrund*) sous le terreau[1] ne doit pas être comptée comme faisant partie de la couche de sable plombifère, car la masse incrustante ne fait aucunement défaut; mais une parenté plus éloignée avec cette formation paraît pourtant consister en sa pauvreté relative en oxyde de fer colorant, qui distingue les parties du sol qui entrent en relation par un accès incomplet de l'air avec les matières humiques avides d'oxygène. La fermeté que montre cette couche a une origine tout autre que la dureté assez fréquemment propre aux parties basses des formations plombifères; ici la masse est compacte et doit sa cohésion à de petites quantités d'acide humique; là, par suite du lavage par l'eau, elle est devenue poreuse et affermie par des particules d'argile réunies en paquets (*zusammengepackt*)[2].

La conception, exposée plus haut, de l'origine des formations de sable plombifère ne s'accorde pas d'ailleurs avec les rares observations faites sur ce sujet, qu'on trouve dans la littérature. L'influence de la destruction des restes organiques sur la transformation de l'oxyde de fer en sels d'oxydule, facilement solubles, qui peuvent être emportés par l'eau, est un processus si généralement reconnu et étudié de tant de côtés[3] que, pour la compréhension de la chose, nous ne pouvons avoir le moindre scrupule de l'adopter aussi ici. Senft, qui a contribué dans une si grande mesure à éclaircir la question de la formation particulière de l'*Ortstein*, n'a pas pensé, si je l'ai bien compris, à cette origine du sable plombifère. Il croit tout d'abord que l'acide tannique joue un rôle prépondérant dans ce processus[4], et comme il ne connaît que les dépôts existant sous les

1. Le seul auteur dans le travail duquel j'ai trouvé une mention de cette couche, est Orth (*passim*, p. 14).

2. Voyez ci-après les analyses de Tuxen.

3. Senft, *Humus*, etc., p. 195-203.

4. *Passim*, p. 193.

landes de bruyère, qui contiennent bien quelque peu d'acide tannique, sa supposition s'explique facilement. Mais, dans la forêt de hêtre, nous avons une végétation dont les déchets (*Abfall*) ne contiennent pas beaucoup d'acide tannique, si bien que l'on a peine à admettre que ce composé organique prenne à un endroit quelconque la moindre part aux transformations qui s'opèrent dans la terre. Comme, de plus, beaucoup de circonstances semblent s'opposer à ce que cet acide très instable puisse être d'une importance considérable dans la tourbe de landes[1], je maintiens donc que, d'après nos observations faites sur les formations de sable plombifère dans les forêts de hêtres, il me paraît au plus haut point douteux que l'acide tannique, dans les transformations dont on a parlé, joue principalement un autre rôle que ce composé organique qui absorbe avec avidité l'oxygène et enfin produit, par sa combustion, de l'acide carbonique.

A d'autres endroits[2], Senft explique l'origine des agrégats sableux limoneux (*limonitartige Sandaggregate*), qui sont vraisemblablement notre terre rouge, comme provenant de l'enlèvement par l'eau de l'hydrate d'oxyde de fer des grains de sable de la couche superficielle du sol et un dépôt de la combinaison de fer ainsi enlevé par lavage à une plus grande profondeur. Mais, en tout cas, il tombe sous le sens que cela ne peut expliquer l'origine des formations de sable plombifère représentées ici, car il n'y a aucune raison sérieuse d'admettre l'enlèvement du fer et son amenée dans les profondeurs par l'eau, à un plus fort degré dans le sol protégé par une couverture de tourbe, que dans les couches sous-jacentes d'une couverture faible de terreau.

Le seul auteur[3] qui, autant que mes connaissances me permettent de l'affirmer, ait décrit des formations de sable plombifère dans les forêts de hêtres, est Emeis, dont les communications à ce sujet[4] ont été publiées après que la présente recherche avait été commencée

1. Voyez Tuxen, *Om Lyargskjodens Udluftering* (*Tidsskr. f. Skovbr.* II, 1877).
2. *Passim*, p. 209.
3. Comparez, par exemple, Senft, *Passim*, p. 181.
4. Emeis, *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et remarques sur la sylviculture*). Berlin, 1875, p. 13.

et que j'avais eu l'occasion d'appeler l'attention d'autres sur ces formations.

Son livre intéressant, qui renferme une série de belles observations, donne cependant une explication des formations de sable plombifère qui ne concorde en aucune façon avec la mienne. Il semble qu'il n'admette aucune relation causative entre la formation de la tourbe et celle du sable plombifère. Il attribue la présence de la tourbe à quelques influences climatologiques assez obscures et il admet que le sable plombifère résulte d'une séparation de l'acide silicique des plantes. La destruction des restes de plantes peut à la vérité donner lieu à une formation d'un peu de poudre silicée (*Kieselmehl*) insoluble; mais l'accord absolu entre les éléments minéralogiques et le degré de division de cette couche et de la couche du sous-sol montre que la couche de sable plombifère n'est pas du tout un pareil dépôt d'origine organique. Cela saute surtout aux yeux là où, en plusieurs places, dans le Jütland (Laven-Skov, Addit-Skov), le sol est mélangé fortement avec des sols riches en mica et de formation carbonifère; car ici le sable plombifère renferme ces éléments caractéristiques, aussi bien que la couche du sous-sol. De même, les couches d'argile colorées, qui se trouvent fréquemment sous le terreau, se transforment peu à peu en formations réelles de sable plombifère et doivent être considérées comme tout à fait analogues à celles-ci, contrairement à la partie la plus précise de l'explication donnée par Emeis.

Les présentes analyses de terre provoquent une étude comparative des recherches d'autres auteurs sur des formations de la même famille.

Un coup d'œil jeté sur le tableau II, ou un examen des analyses de Tuxen données plus bas, montre que cinq des échantillons de terre rouge sur lesquelles on a expérimenté, et qui provenaient des forêts de hêtres de Seeland, ne pouvaient en aucune façon être appelés agrégats d'oxyde de fer; il n'existe en aucune façon plus de fer dans cette couche qu'il ne doit s'en trouver là d'après la place qu'elle occupe dans le sol, dans lequel la quantité d'oxyde de fer augmente de la superficie vers le fond. Au contraire, les analyses montrent que ce qui donne à la couche sa couleur, ce sont des

acides humiques ou des humates qui cependant ne se trouvent pas là en quantité très considérable ; et une observation poursuivie du tableau II rend au plus haut point vraisemblable ce fait que les acides humiques sont ici réellement liés à l'alumine et aux terres alcalines, chaux et magnésie, avec lesquelles ils donnent, de même qu'avec l'oxyde de fer, des sels insolubles dans l'eau ; car, ces corps n'existent dans la terre rouge qu'en quantité correspondante à celle des matières humiques. Ne pourrait-on pas admettre que, suivant la nature du sol, ce sera de l'oxyde de fer, de l'alumine ou des terres alcalines qui seront combinés dans la terre rouge aux acides humiques, si bien que le sol, qui contient une quantité suffisante de ces deux dernières bases, abandonne de préférence celles-ci aux acides humiques de la terre rouge, tandis que dans le sol particulièrement maigre, c'est l'oxyde de fer qui apparaîtrait comme base ? La couche renfermant en même temps des quantités plus grandes d'acides phosphorique et sulfurique, elle peut être avant tout considérée comme un phénomène d'absorption (*Absorptionserscheinung*) ; ces corps qui, en quantité assez considérable, doivent accompagner l'eau qui s'infiltre à travers le sol et qui proviennent bien des restes de plantes accumulés dans le terreau, peuvent être ici retenus par des combinaisons absorbantes existant en grande quantité. Dans la circonstance que les deux acides sont ici directement accumulés, nous voyons une démonstration plus complète de ce fait que la couche de sable plombifère sus-jacente a perdu soit la totalité, soit une partie de son pouvoir absorbant. On doit donc bien, d'après cela, admettre que la terre rouge doit en réalité ses caractères particuliers aux acides humiques et aux sels formés par ces acides.

Nos analyses n'ont trait qu'à des sols prélevés dans les forêts de hêtres de Seeland. Si l'on étudie les formations correspondantes dans les forêts de Silkeborg et du Jütland, il est évident, autant qu'on peut en juger sans analyse, que les combinaisons d'oxyde de fer jouent ici un bien plus grand rôle ; car, il n'est pas difficile de trouver tous les passages entre les couches de terre rouge qui ressemblent parfaitement aux couches de Seeland et de trouver des couches d'*Ortstein* bien distinctes, dans lesquelles l'hydrate

d'oxyde de fer et d'autres combinaisons du fer sont, sans aucun doute, tout à fait prédominantes. D'après cela, ne serait-il pas absolument juste de considérer réellement les couches de terre rouge dans leurs différentes formes, comme des dépôts d'acides humiques et d'humates provenant de la précipitation de dissolutions aqueuses, tandis que, d'après le caractère minéralogique du sol, il résulterait que la base consisterait principalement en humate d'oxyde de fer ou d'autres sels solubles de la même famille, formés par les acides humiques? En tout cas, il paraît de toute nécessité de classer ces formations avec la forme semblable riche en humus, que nous avons désignée sous le nom de tourbe (*Torf*). Le fait que les combinaisons d'acides humiques se déposent principalement là où nous trouvons la terre rouge, eût été peu difficile à expliquer par la conclusion donnée par Senft sur la nature de ces matières; mais, comme pourtant une base suffisante de recherches aurait manqué à de pareilles hypothèses, nous préférons en laisser l'explication à des recherches futures qui auront pour but immédiat d'éclaircir ces rapports.

Tandis que Senft, dans son travail souvent cité, semble attacher une importance principale à ce que le ciment (*Bindemittel*), dans les formations de terre rouge et analogues à l'*Ortstein*, soit de l'oxyde de fer, Forchhammer soutient avec plus d'énergie que c'est de l'humate d'oxyde de fer[1]; mais les résultats auxquels nous sommes arrivé ont été confirmés principalement par les analyses de Schütze[2]. Il a analysé, par exemple, quatre échantillons différents de cette masse et trouvé qu'ils ne renfermaient pas plus d'oxyde de fer que le sol sableux ordinaire surtout, alors que les matières qui donnaient la cohérence à ces couches paraissaient être de nature humique. Mais pourtant, d'abord, les analyses communiquées ici, se rapportant non seulement à la terre rouge de divers endroits, mais aussi à la teneur en fer des couches supérieure et inférieure correspondantes, ont fourni, si je ne me trompe, la démonstration que ce ne sont pas les

1. Forchhammer, *Om Ahlformationen og Campinesandet* (*Overs. o. kgl. d. Vidensk. Selsk. Forh.* 1862, p. 156).

2. Schütze, *Die Zusammensetzung des Ortsteins* (*la Composition de l'Ortstein*) [Danckelmann, *Zeitsch. f. Forst- und Jagdw.* Bd. VI, 1874, p. 190].

sels de fer, mais bien les composés humiques qui sont la déterminante typique de ces formations.

C'est pour cela qu'il me semble avantageux, en opérant d'une façon tout autre que jusqu'à présent, de limiter les désignations employées pour ces couches qui, d'ailleurs, en réalité ne doivent pas être considérées comme essentiellement différentes, mais seulement comme des produits différents d'un phénomène d'origine tout à fait analogue, ce qui semble avoir été reconnu aussi par d'autres[1]. Cependant, cela pourrait donner lieu à des méprises, si l'on désignait les formes différentes de terre rouge et d'*Ortstein* seulement d'après leur teneur absolue en oxyde de fer, et il serait plus exact de prendre en considération la teneur en fer de cette couche en rapport avec le sous-sol, parce qu'on serait par cela même mis en état de reconnaître si réellement il y a eu une accumulation de ce ciment (*Bindemittel*).

Je propose, pour cela, d'employer la dénomination de terre rouge (*Rotherde*) pour les couches cimentées et colorées par des matières humiques ou des sels formés par ces acides, d'étendue plus ou moins grande, qui existent sous les couches de sable plombifère et de tourbe et ne contiennent pas plus de fer que le sous-sol situé immédiatement au-dessous.

Ortstein désignerait des couches analogues ou des formations en forme d'îles (*Inselförmig*) dans lesquelles l'amoncellement de l'hydrate d'oxyde de fer est plus grand que dans la terre environnante et dont la grande majorité (au moins plus de 50 p. 100 et, en général, 80 et 90 p. 100) consiste en sable et substances inorganiques analogues.

Enfin, par fer limoneux (*Raseneisenstein*), on désignerait, comme d'ordinaire, seulement ces agrégats de fer dont la masse principale est formée d'oxyde de fer.

Le fait que ces trois formes sont préjudiciables à la végétation à un degré extrêmement différent, doit sembler très clair, quoique aussi bien la terre rouge que l'*Ortstein* puisse se présenter comme variétés fermes, sablonneuses, et sous forme de couches

1. Voyez, par exemple, Senft, *passim*, p. 210.

terreuses. Je ne sais pas si l'*Ortstein* est exclu des sols argileux, mais il ressort clairement des observations communiquées plus haut que des formations analogues à la terre rouge s'y rencontrent aussi. Aucune de ces formations n'est exclusivement liée à une végétation de bruyères, comme on l'admet d'ordinaire, relativement aux deux premiers, mais elles paraissent inséparables de pareils dépôts humiques, riches en acides humiques, qui prennent naissance là où des monceaux de restes de plantes, pour des causes les plus différentes, ont été détruits par un accès insuffisant de l'oxygène de l'air, tandis que les dépôts humiques plus meubles, bien aérés et bien mélangés, qui ne contiennent pas d'acide humique libre, sont accompagnés d'une couche superficielle du sous-sol (*Obergrund*) plus meuble et bien mélangée.

L'influence de la vie organique sur l'état du sol dans les forêts de hêtres.

Nous avons, en nous appuyant sur nos observations, établi une relation entre le développement particulier de la vie animale dans des conditions différentes avec le caractère changeant de la couverture humique du sol et pensé que nous pouvions observer dans celui-ci les causes des grandes inégalités dans l'état de la partie superficielle du sous-sol. Pourtant, il semble si surprenant qu'un changement relativement insignifiant dans le monde animal et végétal d'un sol, comme l'apparition ou la disparition de misérables sortes de vers de terre et le développement plus ou moins grand d'un tissu de champignons fin et microscopique, puisse transformer complètement l'état de toute la croûte terrestre jusqu'à une profondeur de plusieurs pieds[1] et, par cela, intervenir puissamment dans les conditions naturelles et économiques de la localité, qu'on est conduit à se poser la question suivante : Étant admis que les observations communiquées sont exactes et que les idées émises sur la simultanéité et la succession des différents phénomènes sont correctes, est-il, par suite, prouvé que les circonstances prises en particulier qui

1. Le pied = $0^m,31385$.

sont ainsi assemblées soient en rapport les unes avec les autres au point de vue de la cause et de l'effet? La simultanéité et la succession, dans l'existence de quelques phénomènes, ne sont conditionnées encore entre elles, comme on le sait, par aucune relation causale. L'auteur est parfaitement convaincu qu'une série beaucoup plus étendue de recherches est nécessaire pour établir, sur la base d'une démonstration complète, la relation causale entre les conditions décrites, mais il croit pourtant qu'un examen soigneux des observations communiquées confirmera sa façon de penser. On doit cependant prendre en considération le point de départ de notre série de conclusions, qui doivent débuter par les hypothèses faites. Quand nous avons fait remarquer que le terreau porte en réalité l'empreinte du travail exécuté par les vers de terre et que la tourbe est particulièrement caractérisée par les éléments de cimentation qui produisent la cohésion : les racines de hêtre et le mycélium, nous n'avons donné alors aucune explication sur la façon dont ces deux facteurs ont pris naissance, chacun à sa place. Si, de plus, il faut aussi admettre que les conditions d'humidité de l'emplacement ont une influence sur le développement des deux types d'humus, nous ne savons cependant pas encore du tout si la grande sécheresse ou l'humidité arrête dans une proportion considérable le développement du tissu clair de mycélium qui est vraisemblablement un aliment pour les vers de terre, ou favorise le développement des fils de cladospores cornés indigestes, ou bien enfin chasse directement les vers de terre. Nos observations débutent par l'étude des rapports de structure du sol et, tout de suite après, nos conclusions peuvent se formuler. En ce qui concerne les points déterminants de la forme particulière de la vie organique, nous ne possédons que de faibles indications pour l'explication de son existence. En dehors des conditions d'humidité du sol, il est possible qu'il y ait dans les emplacements d'autres caractères, sur lesquels nos observations ne nous ont donné aucun éclaircissement, mais qui peuvent intervenir d'une façon importante.

Il est pour ainsi dire vraisemblable que les caractères de la faune et de la flore qui s'accusent dans le sol doivent être considérés seulement comme l'expression d'un état de caractère compliqué et avec

une série variée d'hypothèses comme on peut les embrasser ; qu'elles sont à considérer comme une expression qui, dans le cas le plus heureux, peut livrer un des moments principaux. Car ici, comme partout dans la nature vivante, un phénomène est extrêmement rarement la suite simple d'une cause unique. Les causes et les effets s'enchaînent les uns aux autres en une série si brusque et à changements si variés que celui qui poursuit des recherches doit, même avec le plus riche matériel, se contenter d'indiquer uniquement, au milieu de cette diversité confuse des phénomènes, les liens qui existent entre les causes les plus puissantes et leurs effets.

Si, avec cette restriction, nous formulons nos observations et nos conclusions dans la proposition suivante « que le développement différent de la vie organique est une des causes principales des différences dessinées dans le sol de la forêt de hêtres », je crois que les recherches poursuivies confirmeront nos conclusions.

Nous pouvons exprimer simplement les différents états décrits du sol forestier en les qualifiant d'état différent de travail (*Bearbeitung*). Le sol de terreau de la forêt de hêtres représente un sol entièrement travaillé jusqu'à une profondeur de 2 à 5 pieds (0^m,6277 à 1^m,569), aucune activité pratique de l'homme ne pouvant obtenir, sous ce rapport, un meilleur résultat. La tourbe en forme de terreau (*mullartiger Torf*) a un sol dont, seule, la couche tout à fait superficielle est travaillée, si bien qu'elle permet l'entrée de l'air et offre une habitation agréable aux racines des végétaux. Enfin, la tourbe bien dessinée forme un sol entièrement inculte (non travaillé, *unbearbeitet*), où l'accès de l'air est impossible et où les racines des plantes ne peuvent se développer que difficilement dans la profondeur. Ces gradations correspondent tout à fait au développement de la forêt sur les différentes formes d'humus, en ce sens que la végétation forestière atteint sa plus grande plénitude et sa plus grande force sur un sol complètement travaillé, alors qu'elle dépérit sur un sol non travaillé et ne peut pas se régénérer elle-même. Le degré de travail des formes d'humus a donc une influence puissante sur la végétation.

De la signification de la forme de l'humus au point de vue de la géographie végétale.

Autrefois, on a soutenu avec plus de force que maintenant, à ce qu'il paraît, que le caractère chimique du sol, c'est-à-dire les éléments les plus essentiels à la nutrition des plantes, était le facteur qui répartissait les plantes dans le terrain, à l'intérieur de la zone de végétation. Tandis que cette manière de voir a été confirmée, à la vérité sur des points particuliers, par des recherches récentes[1], la prétendue grande importance de ce facteur est affaiblie sur d'autres points, mais, en tout cas, une autre cause plus puissante de la répartition, je veux dire la vie commune (*Zusammenleben*) des organismes qui apparaît dans chaque localité, s'accuse plus fortement. Pourtant, ce ne sont pas seulement, en aucune façon, des groupes de ces organismes que les forestiers ont l'occasion d'observer principalement relativement aux essences forestières qui, par leur rivalité respective, par leur lutte pour la vie, contribuent d'une façon merveilleuse à la division du sol; mais aussi, les organismes des groupes les plus différents agissent également, les uns au milieu des autres, sur l'état du sol et limitent leur développement réciproque. Le fait que les insectes phytophages peuvent contribuer à limiter le développement d'un végétal doit paraître évident à ceux, qui ont eu l'occasion d'apprendre la condition des insectes qu'on trouve en masse avec les plantes qui leur servent d'aliment. Mais il s'ajoute encore à cela un fait auquel jusqu'ici on n'a attaché que rarement l'attention, à savoir que les organismes les plus différents peuvent rendre le sol moins habitable pour certaines espèces et favoriser le développement d'autres. Le changement merveilleux, mentionné plus haut, des plantes (*Wechsel*) herbacées dans les places éclairées de nos forêts, est sans doute un phénomène de ce genre; mais, ici, ce n'est pas seulement encore une plante phanérogame qui prépare le terrain à une autre. Plus étonnants, au contraire, sont les cas où certaines faunes et flores

1. Voyez, par exemple, Fliche et Grandeau, *De l'Influence de la composition chimique du sol sur la végétation du pin maritime.* (Bertin, *Ann. de chim. et de phys.*, série IV, t. XXIX, 1873, p. 383.)

se conditionnent réciproquement. Ainsi, on a indiqué une végétation particulière sur les tas de taupes et de fourmis[1] et Grove[2] a fait remarquer à ce propos à quel point une vie animale particulière augmente la fertilité des sols marécageux (*Marsch*) et dans des conditions telles que le défaut de vie animale liée au développement d'une conferve (algue) paraît être la cause de l'infertilité de certains emplacements (dans les régions marécageuses du Danemark appelées *Sturt*). Nos études sur la tourbe et le terreau ajouteront enfin un nouveau chapitre à la série antérieure des observations de ce genre.

Si les recherches ultérieures devaient confirmer l'opinion à laquelle nos observations nous ont conduit, à savoir que le développement puissant ou la disparition d'une faune terrestre particulière est une cause essentielle de la formation du terreau et de la tourbe, il en résultera un facteur auxiliaire pour la répartition des espèces végétales dans le terrain, qui prend une part aux changements si évidents dans la flore de la localité que nous pouvons dire qu'elle contribue en outre à donner son caractère à notre province et intervient, au point de vue économique, dans une grande proportion.

Déjà la forme du terreau (*Mullform*) agit, comme nous l'avons dit plus haut, sur la végétation du sol et, à la vérité, à un tel degré que dans des étendues entières du pays, les plantes font défaut et, dans d'autres, se développent en une masse extrêmement grande. Ainsi l'on peut traverser en voyageant de grandes étendues de forêts dans le Jütland central, sans trouver les plantes caractéristiques du terreau de hêtres, et le professeur (*Dozent*) Rostrup m'a communiqué que dans les forêts de Lolland et de la partie sud-ouest de la Fionie, dont il connaît parfaitement la flore, il n'existe sur ce sol ni terreau de hêtres, ni les plantes *Trientalis*, airelle-myrtille, ni les calus (*Schwiele*).

Mais ces plantes peu apparentes ne peuvent donner leur caractère à une partie du pays qu'aux yeux d'un botaniste. Leur effet est plus

---

1. Bischenau, *Die Flora der Maulwurfshaufen* (*la Flore des taupinières*). [Nobbe, *Landwirthsch. Versuchstat.*, t. XIV, 1876, p. 176.]

2. *Om Törlägning og Kultivering af Havbugter og Söer* (J. C. la Cour, *Tidsskr. f. Landök*, IV. R. III. Bd, 1869., p. 22 et suiv.)

grand, lorsque les essences forestières y contribuent aussi, et on ne peut pas douter que c'est le cas quand on visite les forêts sur les crêtes élevées du Jütland. Là, la tourbe recouvre de longues étendues et le hêtre se refuse, comme sur le terreau, à toute régénération. Les lisières des forêts montrent comme la végétation arbustive est repoussée vers l'Ouest et comme la bruyère herbacée la pousse en avant vers cette direction; mais cela n'arriverait certainement pas si la jeune forêt, là où les vieux arbres ont disparu, avait pu grandir rapidement, ou si le sol s'était recouvert d'une autre végétation, qui aurait pu soutenir la lutte avec la bruyère. La forêt de hêtres elle-même a préparé la lande par sa formation de tourbe ou c'est plutôt le caractère le plus essentiel de cette formation qui se développe dans et par la forêt de hêtres, et la végétation prépondérante change seulement, quand la bruyère prend la place des hêtres, sur la nouvelle formation de sol de bruyère. Ainsi, les conditions d'évolution de la tourbe acquièrent une grande importance pour le caractère d'une région, d'une province, au point de vue de l'histoire naturelle et de l'économie.

Mais, comment peut-on expliquer que nous trouvions des formations de tourbe dans beaucoup de nos forêts et que celles-ci, au moins en plusieurs places dans le Jütland et en quelques endroits dans la partie nord de Seeland, pourraient être remplacées sans aucun doute par des landes de bruyères, si la nature reste abandonnée à elle-même? Mais où sont les landes qui auraient hérité le terrain de la forêt de hêtres? Car on ne doit pas, d'accord avec Emeis, admettre en toute sûreté que nos conditions climatériques ont éprouvé des changements fondamentaux dans ces derniers temps. Les grandes étendues de landes jütlandaises n'ont presque jamais porté de forêts de hêtres. Toutes les observations témoignent de ce fait que les forêts de chênes de la même sorte que celle qui est près *Hald,* aux places où la forêt a existé principalement, ont été les prédécesseurs immédiats de la lande.

Sans doute, une partie des landes montueuses a remplacé les hêtres sur les crêtes montagneuses du Jütland, mais il ne s'agit guère ici de grandes étendues et çà et là on peut encore trouver des traces de celles-ci, sous forme de végétation rabougrie. Le fait que

cela n'existe pas en grande masse doit être dû à ce que l'ensemble est un phénomène relativement nouveau.

Il me semble que la conclusion ne peut se formuler autrement, si l'hypothèse est exacte, que par ce fait que le hêtre ne peut pas se régénérer naturellement sur le sol de tourbe et cela pourra être confirmé avec certitude par tout forestier. La formation de tourbe ne peut donc, d'après cela, être plus ancienne que la vieille forêt, dont elle recouvre le sol. Il serait pourtant étonnant que la formation de tourbe dans les forêts de hêtres soit seulement le produit des derniers siècles et nous sommes, par suite, conduits à nous demander si ce n'est pas la végétation qui forme la tourbe à de telles places, c'est-à-dire la forêt de hêtres elle-même, qui devait faire souche à une époque relativement ancienne.

Il est bien possible que des déboisements imprévoyants, des incendies ou d'autres circonstances analogues qui ont contribué au dépouillement du sol sont des causes qui ont aidé en même temps au développement de la tourbe; mais, pourtant, il est à peine vraisemblable que de telles conditions aient pu produire des dépôts semblables sur de grandes étendues et sur des places où l'on ne trouve guère de forts déboisements, comme, par exemple, au cœur de Gribsskov, à la limite des quatrième et cinquième districts forestiers de Kronborg.

Il est au plus haut degré vraisemblable que la végétation des hêtres à de telles places se maintienne seulement peut-être pendant un petit nombre de générations ou même une seule, comme forêt de hêtres d'essence pure, avant qu'elle succombe.

Le fait que le hêtre, dans ces étendues de forêts, est un arbre relativement jeune démontre qu'il ne se trouve pas d'ordinaire dans nos terrains marécageux boisés, dont la formation était certainement déjà terminée avant l'immigration du hêtre. Mais les conclusions auxquelles nos études sur la tourbe nous ont conduit seront, plus loin, confirmées par des dessins habiles, si l'on compare ceux-ci avec les conditions de croissance du hêtre et de son rival le chêne. Il ressort aussi, avec la plus grande certitude, des excellentes recherches de Vaupell[1] que la plus grande partie des forêts de hêtres

1. *De danske Skove, Kjöbenhavn*, 1863, p. 285-292.

de pure essence sur les sables d'alluvion (*Geschiebesand*) du Jütland central, — auxquels le forestier consacre maintenant tout son art et pour lesquels il emploie des capitaux importants, pour atténuer la transformation de la tourbe en lande, — était encore seulement deux siècles auparavant si fortement mélangée de chênes que Christian IV en tirait un matériel important pour la construction de ses flottes, et un sommier des produits (*Abnutzungsregister*) de l'année 1645, cité par Vaupell, montre que les Suédois, à la fin de la guerre d'alors, se faisaient livrer plusieurs milliers de chênes comme bois de constructions navales, provenant des forêts des environs de Silkeborg. Maintenant, dans la plupart de ces forêts, il existe à peine quelques chênes isolés et la description spéciale du Département des Forêts du district forestier de Silkeborg[1], dont les conclusions portent sur cinquante années, ne fait mention que d'un seul peuplement de chênes d'une étendue d'un quart d'hectare sur un district forestier de plus de 2,800 hectares. Il a été établi par les recherches classiques de Vaupell et admis par chaque praticien forestier comme un fait certain, que le chêne et le hêtre ne peuvent vivre longtemps en alliance fraternelle, surtout sur un sol sec, chaud et sableux; la nature des forêts, telle qu'elle était au XVIIe siècle, ne peut, pour cette raison, avoir été en état de longue durée et Vaupell proclame sûrement, avec pleine raison, l'extension plus grande du hêtre dans ces régions seulement deux siècles auparavant. Au moment actuel, c'est-à-dire deux cents ans plus tard, le chêne a disparu et les forêts de formation naturelle consistent exclusivement en hêtres; car la superficie du sol, par l'influence du hêtre, — ce qui ressort du caractère de la tourbe de hêtres, — a subi un changement tel que le terrain doit nécessairement se transformer en lande. De plus, nous avons vu que la bruyère herbacée sur ce sol maigre et sec transforme la superficie tout à fait de la même façon que le hêtre, et là où, par suite d'un déboisement maladroit ou d'autres conditions, le sol s'est trouvé dépouillé, la bruyère herbacée pouvait immigrer dans les anciennes forêts de chênes, elle a petit à petit supplanté celles-ci, empêché la

1. Voir Lütken, *Statistik Beskrivelse af de danske Statsskove*, 1870, p. 240-246.

régénération et accaparé le terrain pour le transformer en de longues étendues de landes.

Ces observations nous conduisent à la conclusion que l'immigration de la bruyère herbacée et du hêtre dans les vieilles forêts de chênes, sur le sable d'alluvion sec a eu le même résultat, c'est-à-dire la formation de landes. A l'un de ces endroits, le hêtre a été un intermédiaire entre le chêne et la végétation éricacée (*Haidekraut-vegetation*), à l'autre, cette dernière a apparu sans préparation. Sur un grand nombre d'étendues de sols secs et sableux, l'immigration du hêtre a donc précédé la disparition de la végétation forestière et cette puissante altération dans la nature de notre pays s'est accomplie, en plusieurs endroits, sur des étendues extrêmement considérables en moins de cinq siècles. Mais cette conclusion nous conduit en même temps à faire remarquer que l'on doit se garder de chercher la cause de pareils phénomènes naturels dans un seul facteur, comme on y est si souvent enclin. Le fait isolé, simple, la disparition de la forêt, semble être le résultat d'un concours confus et embrouillé d'une grande série de facteurs. Car la nature du sol, le vent et la température, qui influent aussi bien sur la superficie du sol que directement sur la végétation, l'action de l'eau de pluie sur le sol, la destruction mécanique des particules de ce dernier et les transformations chimiques dans le sol, influencées aussi bien par la vie de la grande végétation forestière que par la flore des champignons microscopiques et par la vie animale peu apparente et cachée dans le sol; toutes ces forces hétérogènes ont, dans leur coopération compliquée, contribué à la production de ce phénomène que nous observons et qui, lui aussi, n'est qu'une phase (*Glied*) dans de nouvelles altérations et transformations.

Mais enfin il résulte de là que beaucoup de conditions différentes peuvent intervenir pour troubler la rapidité et la régularité du développement de ces phénomènes. Les proportions de mélange du sol, qui peuvent contribuer à un plus ou moins grand degré à conserver au sol sa fraîcheur, l'inclinaison du terrain, la distance des eaux souterraines, le traitement de la forêt, etc., tous ces moments peuvent ne pas agir seulement sur la faune et sur la flore visibles, mais aussi sur la faune et la flore cachées et, par cela, contribuer à un déve-

PARIS

loppement plus ou moins rapide des phénomènes observés, à l'accroissement de leur extension ou à la limitation de leur apparition; par suite, un devoir important s'impose au forestier, qui doit étudier les moindres points de l'histoire naturelle de la forêt avec attention et intérêt.

Si, enfin, nous retournons au point de départ de notre travail, à l'observation que le hêtre, dans les sortes de sols les plus différents, c'est-à-dire aussi bien sur les formations de grès que sur les sols calcaires, dans les grandes étendues de forêts de l'étranger, montre tantôt un développement puissant, tantôt une croissance mauvaise et rabougrie, sans qu'il soit possible de trouver la cause de ces différences dans les facteurs auxquels le forestier a d'ordinaire recours, pour expliquer de telles conditions, notamment le climat et la composition chimique du sol, les recherches dont nous avons parlé sur la nature des formations d'humus et les observations faites dans nos propres forêts tendent, avec la plus grande vraisemblance, à démontrer que les différences proviennent, pour une grande part, des autres habitants plus cachés dans le sol, qui peuvent préparer à la végétation forestière, aussi bien sur le grès que sur la pierre calcaire, un sol parfaitement travaillé et aéré ou un sol insuffisant et travaillé seulement à la superficie, ou bien enfin le laissent tout à fait ferme et non travaillé.

Sur la terre de champ et de forêt.

Personne ne met plus en doute qu'un sol fertile devrait renfermer les substances inorganiques indispensables à une végétation puissante sous une forme accessible aux plantes et cette hypothèse de la fertilité est, cela va sans dire, valable aussi bien en sylviculture qu'en agriculture. Seulement la science des engrais, en agriculture, basée sur ce principe, est pourtant, dans sa signification pratique, réellement limitée à la connaissance de l'état physique du sol. Mais cette limitation doit être encore beaucoup plus restreinte en sylviculture qu'en agriculture ; car un nouveau moment très influent, le degré différent de travail naturel, intervient. Les nouvelles contributions apportées à la théorie de la sylviculture par les travaux publiés

dans ces dix dernières années par Ebermayer, Schütze, Schröder et d'autres auteurs, ont été essentiellement des recherches faites en vue de créer la science des engrais (*Düngerlehre*) en sylviculture, ainsi que je l'ai mis en évidence dans une publication antérieure; seulement, dans l'emploi des procédés acquis par ces expériences, on ne doit pas, à mon avis, oublier des parties beaucoup plus importantes de la théorie de la sylviculture, particulièrement l'influence exercée par les caractères physiques différents du sol sur la croissance de la forêt. La différence entre la théorie de l'agriculture et de la sylviculture qui provient du degré inégal auquel est limitée la science des engrais pour les deux par la connaissance de l'influence exercée par l'état physique du sol sur sa fertilité, peut être définie clairement de la façon la plus facile par un court exposé de la signification, que les études récentes sur la terre du champ attribuent à la nature physique du terrain et en recherchant si les limitations que le domaine de la science des engrais proprement dite subit, par ce fait, sont applicables aussi à la théorie de la sylviculture.

D'après cela, il paraîtra tout d'abord évident que les propriétés physiques de la croûte terrestre, qu'on pourrait plus brièvement appeler principes de Schübler (*Schüblersche*), parce que cet auteur, par ses recherches célèbres, a le premier posé les fondements de cette connaissance, doivent avoir été influencées au plus haut degré par la forme d'humus. La porosité de la croûte terrestre, son poids spécifique, son pouvoir d'absorber l'humidité de l'air, sa *capacité hygroscopique* (*wasserhaltende Kraft*), sa capacité d'échauffement, etc., doivent être au plus haut point différents sur le terreau et sur la tourbe. Notre connaissance de la signification de ces conditions pour la végétation est cependant encore si restreinte qu'il est impossible d'établir la part des conditions favorables ou défavorables à différents degrés. Seulement, dans le cas d'un développement extrême d'un côté ou de l'autre, on peut formuler des conclusions précises sur l'utilité ou le dommage. Ainsi, on peut dire à coup sûr que la grande fermeté de la tourbe et le pouvoir considérable qu'elle a d'aspirer et de retenir l'eau, etc., la nature du sol léger sur lequel cette forme d'humus se produit si fréquemment, dans son entier et vraisembla-

blement dans un sens plutôt défavorable doivent pouvoir changer. Comme la croûte du sol du champ arable, grâce au travail qu'elle a reçu, n'oscille pas de beaucoup entre les grands extrêmes, dans le sens des propriétés de Schübler, ainsi que la terre de forêt, le forestier sera obligé d'y consacrer une plus grande attention et il lui sera plus facile qu'à l'agriculteur de leur assigner une place parmi les propriétés d'après lesquelles il juge de la fertilité de son sol.

On attribue une tout autre valeur au pouvoir absorbant du sol qu'aux propriétés de Schübler, au point de vue du jugement à porter sur la fertilité de la terre de champ. Après qu'eurent échoué les grandes espérances que, de son temps, on fondait sur l'analyse chimique du sol comme moyen de déterminer la fertilité d'une localité en agriculture, engagé par les recherches de Liebig, depuis cinquante ans on s'est jeté avec toute énergie sur l'étude de cette propriété, dont la détermination est maintenant placée au premier plan comme méthode de classification (*Bonitirungsmethode*). L'absorption est, comme on sait, la propriété inhérente à un degré différent au sol, en partie par l'attraction physique, en partie par l'affinité chimique, de retenir les plus importantes matières organiques qui sont les aliments indispensables aux végétaux, potasse, ammoniaque, soude, magnésie, chaux et acide phosphorique, quand celles-ci lui sont amenées à l'état de dissolution[1]. La cause pour laquelle on attache une si grande importance à ce pouvoir comme facteur de la fertilité dans le sol des champs, a été exposée par Knop à peu près de la façon suivante[2] : pour que l'analyse chimique puisse être utile, il est nécessaire de séparer la question de la quantité d'éléments nutritifs existant à un moment donné de celle de la nature du magasin de réserve (*Vorrathsmagazin*), qui est la demeure même de la plante. Cette considération conserve sa valeur aussi bien au point de vue purement scientifique que pour décider pratiquement de la fertilité d'une terre arable. Car, quand on entreprend d'apprécier une habitation ou une autre, on doit chercher à se rendre compte si elle est bien installée au point de vue pratique ou hygiénique,

1. Knop, *Kreislauf des Stoffs* (*Cycle de la matière*). Berlin, 1868, p. 500.
2. Knop, *Bonitirung der Ackererde*. Leipzig, 1871, p. 57.

pourvue de bonnes chambre d'approvisionnement, etc., et si ces chambres d'approvisionnement sont pleines ou non; de même, dans l'évaluation de la fertilité d'un sol, il faut faire le partage entre son état de fumure présent et le pouvoir qu'a ce sol d'utiliser de la bonne façon la fumure et d'être habitable et sain pour les plantes.

Cette considération, qui semble être la pensée fondamentale, surtout d'après les efforts faits par Knop, aussi bien dans la classification rationnelle plus récente des terres arables que dans les tentatives faites au point de vue scientifique, pour arriver à la solution de la question de savoir ce qui rend un sol fertile, a attribué toute l'importance au pouvoir absorbant. Quelle signification peut-on lui accorder quand il s'agit d'apprécier la fertilité d'un sol forestier?

Ici, l'on doit tout d'abord remarquer que, d'après le cours des idées propres de l'auteur en question, la signification de l'analyse chimique doit augmenter de valeur lorsqu'il s'agit d'une terre forestière. Il règne, à la vérité, dans une exploitation forestière régulière, une uniformité si complète dans ce qui, chaque année, est apporté au sol, que c'est dans des cas exceptionnels seulement qu'il peut être question d'un état de fumure accidentel et changeant; rien n'est apporté au sol forestier qui n'émane de lui et ce qui est enlevé est relativement bien peu de chose [1].

Comme ce pouvoir absorbant, d'après tout ce qui a été dit précédemment à ce sujet, constitue un côté extrêmement important des propriétés de la terre qui porte une végétation, ce doit être aussi le

---

1. Dans une annonce anonyme des analyses de sols de landes de bruyères faites par Tuxen (*Tidskr. f. Skovbr.*, Bd I), parue dans la *Wochenschrift für Ackerbauer* (1877, 5 juillet), quelques observations annexées à cette publication furent critiquées. On déclarait inadmissible la possibilité de tirer des analyses chimiques des conclusions sur l'infertilité du sable plombifère en comparaison avec celle du sous-sol, et la méthode de classification de Knop basée sur les recherches de la quantité et de la nature de la terre fine absorbante était indiquée comme la seule à employer. L'honorable publiciste ne paraît pas avoir pensé aux particularités des sortes de sols dont il était question. Ce sont des formations géognostiques, de caractère tout à fait identique, et si pauvres en terre fine que les conclusions qu'on peut tirer des analyses mécaniques citées, peuvent à peine être complétées par des explications poussées plus loin dans cette direction. Les observations qui se trouvent plus haut expliqueront encore davantage la raison pour laquelle justement la méthode de recherches employée dans le travail cité avait été choisie, de même qu'elle a été employée dans le présent travail.

pilier d'un des plus importants facteurs de la fertilité du sol forestier, mais ici il ne paraît pas être seulement dépendant du caractère primitif du sol, de la nature minéralogique et chimique de ses parties, mais en même temps dépendre aussi de la forme d'humus. Nous avons vu comment le sol peut subir un changement tantôt en partie, tantôt dans toute sa puissance par un passage du terreau à la tourbe. Cette transformation du sol poreux en sable plombifère et parfois en couches de terre rouge sablonneuse avec le plus fort dépôt des éléments absorbants doit influencer au plus haut point la propriété dont on vient de parler, à laquelle on attribue une si grande importance pour la fertilité du sol arable; on ne peut guère, à cause de cela, lui accorder qu'exceptionnellement la même valeur pour la classification qu'en agriculture.

Enfin, il me paraît être extrêmement difficile d'admettre que le pouvoir absorbant du sol est l'expression de la fertilité de ce sol, quand le quantum des matières absorbantes est si extraordinairement différent dans les diverses parties du sol. Si la quantité d'alumine ferrugineuse augmente peu à peu avec la profondeur, alors le pouvoir absorbant, lié essentiellement à cette matière, doit changer d'une façon analogue et il peut à cause de cela être difficile d'appuyer la classification pratique seulement sur le pouvoir absorbant. Cela s'applique peut-être de préférence à la terre forestière, mais aussi à la terre arable, où, bien qu'avec moins de régularité, ces conditions ont aussi une certaine valeur. C'est sur ce fait que s'appuient aussi les plus récentes propositions concernant une méthode de détermination de la fertilité du sol, la méthode de profil d'Orth [1].

Puisque, dit-il, la quantité de chaux et d'alumine ferrugineuse est très fortement réduite dans les couches supérieures du sol, mais que ces matières existent ordinairement en plus grande quantité dans les autres couches, la fertilité du sol doit donc être réellement liée au degré et à l'extension du lavage et du limonage; le profil géognostique du sol doit donc donner la juste expression de la constante pour la fertilité du sol [2]. Les vastes recherches qui servent à

1. *Geognostisch-agronomische Kartirung*. Berlin, 1875.

2. *Passim*, p. 14, 30. Voyez aussi : *Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Bodenkunde*. (Nobbe, *Landw. Versuchst.*, Bd XX, 1877, p. 63.)

appuyer cette manière de voir, confirment le plus complètement possible l'exactitude des résultats touchant ces conditions, auxquels notre série de recherches nous a conduit. Il saute aux yeux que des changements aussi importants de la croûte terrestre se sont accomplis dans le terrain et « s'accompliront encore mieux dans la suite[1] », qu'on doit en tenir compte pour l'estimation de la fertilité du sol et que, d'abord, la recherche des parties composantes du mélange, de la composition minéralogique, des rapports physiques de la couche, à la profondeur maxima à laquelle les racines des végétaux pénètrent, nous fournit le moyen d'estimer la fertilité d'un sol de culture. Pourtant nos observations nous laissent penser que ce qui s'accomplit encore plus tard dans le sol est, à la vérité, différent suivant la forme d'humus qui, dans la forêt, subit des changements beaucoup plus forts que dans le champ ; la nature de la couche d'humus doit donc jouer là aussi un rôle beaucoup plus grand, eu égard aux facteurs admis par Orth.

On pourrait peut-être résumer ces observations sur la terre forestière et la terre arable de la façon suivante : la fertilité des deux est régie, à la vérité, par la richesse du sol en nourriture végétale, quoique la méthode d'exploitation, différente pour les deux, exige une plus grande attention pour l'un que pour l'autre. Pour ces deux sortes de sols, l'importance de ce facteur est limitée à un haut degré par l'état physique du sol, aussi bien que par le caractère qu'ont fait ressortir Schübler, Knop et surtout Orth. Comme cet état physique est cependant influencé d'une façon très sensible dans la forêt par la forme d'humus, une importance tout à fait prépondérante doit lui être attribuée, aussi bien dans des recherches scientifiques sur les rapports de l'arbre forestier au sol que dans les travaux pratiques de classification. A mon avis, c'est le manque de concordance existant entre les différences dans les méthodes employées pour le travail du sol en agriculture et en sylviculture, qui intervient avec une profonde énergie dans le développement des principes théoriques.

---

1. *Passim* (*Landw. Versuchst.*, p. 69).

APPLICATION

De l'examen des sols.

L'examen des sols et la description qui accompagne d'ordinaire les travaux sur la régularisation de l'exploitation des forêts et qui, en général, forment les principes du plan de culture devront, étant donnée notre connaissance actuelle de la terre forestière, occuper une place assez restreinte.

Ainsi, dans les meilleures régions du pays, la caractéristique du sol presque dans chaque division, d'après l'examen ordinaire fait à une profondeur de deux coups de bêche, s'exprime le plus souvent de la façon suivante : couche supérieure de terreau reposant sur un sous-sol (*Untergrund*) d'argile sableuse ou de sable argileux, etc. En outre, il faut encore faire remarquer que la couleur du sol ne paraît être aucunement un indice certain de la richesse en terreau, que la couche inférieure, qui est désignée ordinairement sous le nom de *Untergrund,* sous-sol, parce qu'elle a la couleur jaune d'ocre, n'est en aucune façon toujours le sous-sol ; de plus, que ce mode de description amène à des conclusions dénuées d'importance, lorsque le caractère de la couverture d'humus, si pleine d'importance pour les travaux de culture et le développement des plantes, peut être au plus haut point différent sur des emplacements qui sont décrits de cette façon d'après la pratique suivie jusqu'ici.

Nos analyses nous ont montré que le sol (*Obergrund*), même avec une coloration extrêmement différente, peut contenir la même quantité de matières organiques, si bien qu'un sol qui, en apparence, semble privé de matières humiques, peut tout aussi bien être appelé terreau (*Mull*) que les couches brunes, d'une coloration très foncée, du sol (*Obergrund*), ordinairement désignées par ce nom. Le sol en forme de terreau se reconnaît essentiellement à son état parfaitement meuble, de mélange intime, et aussi parce que sur un sol argileux extrêmement fort, comme dans les forêts étendues du Lolland, il doit consister en limon sableux ou en sable argileux ; aussitôt que le terrain s'élève un peu, il est une conséquence naturelle

de l'enlèvement, par lavage de l'alumine, des places plus élevées qui se produit partout. La puissance du sol (*Obergrund*) doit donc être estimée d'après la distance du terreau graveleux proprement dit, noir-gris jusqu'au sous-sol (*Untergrund*), ferme, inégalement coloré avec sa partie supérieure claire, où celle-ci existe. La couche supérieure du sol, estimée de cette façon, a ordinairemement une puissance de 2 à 4 pieds (0^{m},6277 à 1^{m},255), elle peut cependant se restreindre jusqu'à 1/4 de pied (0^{m},078), ou moins, mais aussi être considérablement plus puissante.

Comme les conditions d'humidité de la superficie sont influencées à un degré assez important par l'éloignement du sous-sol, par conséquent par la puissance du sous-sol meuble, cette condition doit constituer une partie qui n'est pas accessoire de la description ; un éloignement faible rend en général le sol froid, un éloignement très considérable le rend sec.

A cela il faut ajouter la nature réelle du sous-sol, caractérisée par les indices dont on a parlé ; celle-ci sera, en général, pour l'estimation des qualités du sol, une règle beaucoup meilleure que le sol avec ses conditions de croissance changeantes. Seulement, sur le sable d'alluvion maigre, c'est à peine s'il existera une limite apparente entre le sol et le sous-sol, et la détermination de l'éloignement de ce dernier de la superficie ne sera, à cause de cela, pas toujours possible ici.

La détermination de la croûte terrestre proprement dite ou de la couverture d'humus devrait certainement constituer la partie essentielle de la description, car de cela dépend, plus que de toute autre chose, le choix du mode d'espacement des arbres et de la méthode de culture. Les dépôts humiques peuvent, tout aussi bien sur les sols argileux que sur les sols sableux, manquer complètement à la partie superficielle de la croûte terrestre, quand le soleil ou le vent ont fait disparaître rapidement la couverture feuillue et, par suite, ont éloigné les éléments constitutifs de cette couche, ou bien la forme d'humus peut plus ou moins se rapprocher d'un des types principaux décrits plus haut. La détermination de ce type et sa caractérisation, soit au moyen d'une nomenclature semblable à celle proposée ici, soit par un choix bien fait et certain des plantes carac-

téristiques de la végétation des sols, paraît, en dehors de l'indication de l'éloignement d'un sous-sol réel et de la nature de celui-ci, être, pour une description élémentaire des sols, une forme plus instructive que celle employée aujourd'hui.

A l'aide de descriptions de sols, dans des examens plus approfondis que ceux qui s'appliquent à des recherches faites sur des surfaces fermes, on ne peut pas, dans l'état actuel de nos connaissances de la nature de la terre de forêt, pousser avec avantages les recherches plus loin qu'une analyse mécanique de la couche supérieure du sol et du sous-sol, sur trois ou quatre points de la surface, conjointement avec l'examen des conditions mentionnées plus haut. Si l'on choisit les échantillons de la surface du sol environ à 4 pouces ($0^m,1046$) au-dessous de la superficie où finit la couche plus sombre, et les échantillons du sous-sol à quelques pouces au-dessous de la limite la plus inférieure de la couche supérieure claire de celle-ci, on obtient ainsi exactement, en dehors des éléments du sous-sol, en même temps le degré de limonage de la couche supérieure et vraisemblablement aussi par ce moyen, une indication sur d'autres conditions importantes, comme le pouvoir absorbant et analogues, sur lesquelles on pourrait arriver à formuler des conclusions plus larges par l'emploi de travaux très importants. La méthode de Schütze pour la détermination de la richesse du sol en sels solubles peut, comme cela ressort du travail de Tuxen qu'on trouvera plus loin, être employée seulement avec une grande réserve et si l'on veut déterminer un corps dans le sol par la voie chimique, c'est, sans aucun doute, la chaux qu'on doit choisir.

Sur les soins à donner au sol dans la forêt.

Il est de pratique générale, répétée dans tous les traités et reconnue par tout forestier, que la porosité et la fraîcheur du sol sont obtenues par des installations de nature à maintenir longtemps la couverture feuillue sur le sol. Mais nos observations pourraient maintenant montrer que cette influence de la couverture feuillue doit être attribuée non seulement aux processus du monde inanimé, aux agents purement chimiques et physiques, mais aussi pour une

part assez considérable à la vie organique, qui se meut dans un sol forestier frais et bien ombragé ; le travail du forestier, pour protéger le sol, semble devoir être, à un degré essentiel, de favoriser le développement d'une troupe d'êtres qui travaillent en secret à son avantage. D'après cette explication, il est compréhensible qu'il résulte de là des étendues de terre maigre et sèche, qui portent des forêts de hêtres sur lesquelles le sol est recouvert de tourbe, malgré toute la prévoyance imaginable et d'une protection complète ; ce sont là de tels emplacements qui, même par le meilleur traitement de la forêt de hêtres, n'ont pas été mis en état de livrer des conditions convenables pour le développement des organismes du terreau de hêtres.

Mais, si l'on fait exception de ces places, le forestier aura, en général, pour mission de provoquer le développement du bon terreau et de protéger la vie animale qui contribue si puissamment à sa formation. Il peut arriver à ce résultat en maintenant constamment le sol ombragé, en ayant soin que les bords extérieurs soient pourvus de couverture et à condition qu'il ne dégarnisse pas la forêt trop fortement et sur de trop grandes étendues, pendant la régénération. Si l'on considère la chose avec justesse, la disposition adoptée chez nous, des coupes d'ensemencement claires, produit à vrai dire une perturbation extraordinairement étendue dans la nature d'un emplacement. Le sol ombragé, frais, protégé contre le vent et la gelée nocturne, est subitement ouvert à toutes les influences dont il avait été jusqu'alors protégé avec soin. S'il s'ajoute encore à cela une inclinaison vers le sud ou l'est, où le soleil brûlant ou le vent desséchant peut agir avec sa force entière, ou bien si le sol est exposé au vent d'ouest, qui balaie le feuillage qui, jusqu'alors, abritait la vie animale de la terre, alors la transition devient plus brusque. Tout naturaliste qui croit fermement à la relation intime qui existe entre les propriétés physiques d'un emplacement et la vie animale intérieure et les plantes, comprendra aussitôt que l'installation d'une coupe d'ensemencement crée une situation tout autre qui favorise l'immigration de nouvelles formes et leur victoire sur d'autres formes prédominantes jusque-là. Une coupe d'ensemencement ouverte est un emplacement zoologique et botanique entièrement différent d'une forêt de hêtres élevée en futaie pleine, et s'il est admis que la forme d'humus

est influencée à un degré sensible par le monde animal et végétal particulier du lieu, il doit donc se produire aussi un changement dans la direction que prend la formation d'humus. De quelle sorte sera ce changement et combien grand sera le rôle qu'il jouera dans l'économie de l'exploitation de la forêt, cela dépend essentiellement de la nouvelle population à laquelle l'emplacement donnera asile. Il en est de même pour un grand nombre d'autres installations d'exploitations analogues que pour les coupes d'ensemencement ; une coupe d'éclaircie exagérée, un dépouillement imprévoyant des bords extérieurs qui servent de protection, un jardinage sans plan et d'autres causes semblables, pourront amener les mêmes changements dans la vie organique qui s'agite sur le sol des forêts et produire les mêmes phénomènes que ceux que nous trouvons réellement dans la nature. En appelant l'attention sur ces conditions, nous ne voulons certainement donner aucune nouvelle méthode ; car, aussi longtemps que la sylviculture a été l'objet d'un traitement intelligent, on a su à quels dangers on s'exposait par les changements subits dans les conditions d'ombragement et la protection du sol. Mais nous croyons que nos observations peuvent servir à éclairer sur l'emploi des vieilles méthodes bien connues et la recommandation de leur signification.

Mais on ne doit pas oublier que la forêt de hêtres elle-même prend la part la plus essentielle à la formation de la tourbe, de manière que de toutes les forêts auxquelles nous avons affaire chez nous, c'est celle qui exige la plus grande attention, ce qui est également établi de la façon la plus complète par la pratique.

Comme le réseau de racines superficiel et épais est un facteur qui contribue essentiellement à la formation de la tourbe, on devra, aux places où ce réseau a commencé à se développer, au cas où la végétation de bruyères n'est pas trop menaçante, apporter de meilleurs soins au sol en sacrifiant les derniers arbres restants et en pratiquant un reboisement habile ; la présence prolongée des porte-graines augmentera sans aucun doute le mal d'année en année. Nous verrons la confirmation entière de ce fait par la pratique, et la plupart des chefs de cantonnement dans le nord de Seeland et dans le Jütland central trouveront certainement que cela concorde avec leurs observations personnelles réitérées.

Mais, si la tourbe se développe et menace de préparer dans l'avenir à la sylviculture des embarras sérieux, la différence entre le terreau et la tourbe paraît fournir un procédé qui dissipe le mal ainsi produit. Le terreau est poreux, les restes organiques sont bien mélangés avec la terre minérale et leurs produits de destruction, grâce à un accès suffisant de l'oxygène de l'air, se trouvent principalement sous forme neutre. Par le travail et l'aération, ainsi que nous l'avons entrepris avec succès sur la tourbe de bruyère analogue, on peut remédier à un haut degré aux conditions défavorables du sol en rapport avec la tourbe de hêtres, c'est-à-dire la fermeté, le mélange imparfait, un accès insuffisant de l'oxygène de l'air, par lesquelles se produisent les acides de la croûte et la formation de sable plombifère. Cette conclusion semble aussi être en accord parfait avec la pratique la plus récente en sylviculture, dans laquelle le travail de la surface consacré à la régénération est toujours plus fréquent. Bien entendu, l'emploi de l'alcali, de la chaux éteinte, des cendres de bois pourra favoriser la production de la tourbe et, quand on a l'occasion de créer cette matière, on doit considérer cela comme très utile. Malheureusement, l'emploi de pareils moyens ne peut être mis en pratique qu'exceptionnellement, dans de plus grands districts forestiers.

Sur le choix de l'essence.

Le résultat principal de nos études doit avoir pour but le choix des arbres et, si je ne me trompe, ces études nous fournissent pour cela un guide tout à fait sûr.

Si le sol est recouvert de tourbe, les conditions qui ont produit cette forme d'humus peuvent être une propriété invariable du sol et de l'emplacement, comme cela doit être certainement le cas de beaucoup de places dans le Jütland et dans quelques parties des forêts d'État dans le nord de Seeland, où le sol est si sec que la vie organique, qui devrait hâter la formation du terreau, peut difficilement se développer. Seulement, la formation de tourbe peut être le résultat d'un traitement incorrect et fait sans art.

Dans le premier cas, on devrait bien, par un travail profond du

sol, s'efforcer de créer des conditions telles que le hêtre puisse prospérer; mais on pourra, d'après ce qui précède, conclure qu'il serait au plus haut degré vraisemblable que la régénération des hêtres qui suivrait trouverait une couverture de tourbe développée, comme la régénération actuelle. L'amélioration du sol aurait ainsi seulement une valeur passagère et, pour cela, on renoncera certainement, à de telles places, à la culture du hêtre et on devra consacrer le sol à des essences qui ne produisent pas de tourbe, ou au moins, qui, comme le hêtre, ne pourront pas être arrêtées dans leur développement par les propriétés défavorables de la couverture de tourbe.

Si, au contraire, les caractères particuliers du lieu donnent à penser que la formation de tourbe s'est développée surtout par suite d'un mauvais traitement ou de conditions défavorables, sur quoi, en général, l'aspect de la forêt peut renseigner le forestier expérimenté, alors il n'y a presque rien qui puisse entraver l'installation du hêtre. D'après la pratique ordinaire, on doit entreprendre sur un tel sol la régénération du hêtre le plus souvent en fourches et en carrés; on ne travaillera pas le sol en dehors de ces places et les porte-graines conservés comme ombrelle maintiendront ainsi la couverture de tourbe entre les places travaillées. Ce procédé ne semble pas assurément être suffisant; les jeunes plantes, à cause de l'état défavorable du sol, souffriront bientôt, et ce n'est malheureusement que trop souvent que de telles cultures ont un aspect chétif. Si l'on examine de jeunes plants de hêtre à de telles places d'ensemencement, on constate que déjà, à l'âge de 3 à 4 ans elles sont enlacées du plus épais réseau du mycélium qui sort de la tourbe environnante. D'après cela, il me semble que le procédé le plus sûr pour mettre à nouveau en culture de hêtres une pareille surface, sera d'éclaircir complètement la forêt, puis d'ouvrir la surface en la brisant et de l'aérer pendant une année pour y implanter ensuite une essence qui ne forme pas de tourbe, qui peut servir de première culture (*Vorkultur*) avant les hêtres, comme, par exemple, des mélèzes et des pins : quand ces arbres sont devenus assez vieux, on peut passer au hêtre. Là seulement où la formation de tourbe est très faible, il serait parfaitement logique de commencer, comme sur les autres parties de la surface,

avec la culture du hêtre ; mais aussi ces places paraissent ne pas pouvoir se passer d'un travail profond, comme on en entreprend d'ordinaire et, en tous cas, le mélange du hêtre avec d'autres essences qui ont des racines qui pénètrent profondément, comme le mélèze et le pin, sera opportun.

Enfin, on peut voir à quelques places dans nos régions forestières de caractère défavorable, comme sur les étendues de sable mouvant de l'île de Seeland, dans les plus anciennes plantations de bruyères, sur des dunes très sèches et des endroits semblables, autrefois livrés à la culture, des plantations de hêtres en excellente croissance, après une préparation du sol par une culture d'arbres résineux. Ces plantations de hêtres dans du sable meuble surprennent souvent par leur bonne croissance et attirent ordinairement d'une façon spéciale l'attention du forestier dirigeant, justement parce que le résultat lui apparaît tout à fait exceptionnel. Il semble pourtant que ce soin, quoiqu'il puisse être naturel et qu'on soit autorisé à le nommer ainsi, ne soit pas bien placé. De tels peuplements de hêtres doivent certainement, au moins aux places haut placées et sèches, finir par des formations de tourbe, et comme on l'a mentionné plus haut, un examen attentif du sol permet aussi de constater un développement étonnant du champignon, mycélium noir-brun, qui est le commencement de ce phénomène. De telles surfaces peuvent seulement avoir été maintenues en culture de durée au moyen d'essences ne donnant pas lieu à une formation de tourbe.

Quelques recherches chimiques sur le sol des forêts de hêtres,

PAR C. F. A. TUXEN.

La série de travaux analytiques publiés dans cet ouvrage sur le sol forestier a été entreprise à l'instigation du docteur Müller, comme complément à ses recherches intitulées : « Les Formes de l'humus dans les sols siliceux et argileux des forêts de hêtres. » C'est pourquoi, ces recherches offrent toutes les garanties de certitude, tant au point de vue du but qu'à celui du nombre et de la valeur des analyses

qui ne pouvaient être exécutées que pendant mon temps de loisir. Les échantillons de terre ont été prélevés par le docteur Müller et la description des différents profils a été publiée d'après ses données. Les numéros des profils sont les mêmes que ceux qu'il a indiqués dans son travail précité, dans lequel on trouvera en même temps l'explication de plusieurs indications employées pour les couches de terre et on doit avoir recours à ce travail si l'on veut comprendre entièrement notre mémoire.

Sur les éléments humiques. — De la quantité d'acide humique contenue dans les différentes couches de terre.

Étant donné qu'il était démontré que tous les échantillons des couches de terreau prélevés à l'état frais dans les forêts de hêtres rougissaient le papier de tournesol, il fallait chercher à déterminer pour quel sol cette réaction devait être attribuée seulement à l'acide carbonique et dans quel cas une réaction analogue pouvait être due à l'acide humique libre soluble dans l'eau.

C'est pourquoi tous les échantillons de terre ont été essayés à l'état frais, en partie avec du papier et en partie avec la solution de tournesol; ensuite le papier de tournesol était desséché ou la liqueur chauffée à l'ébullition, pour chasser l'acide carbonique. Dans les deux cas, chaque échantillon de terreau ne donna aucune coloration rouge, tandis qu'au contraire, aussi bien la tourbe que les formations de terre rouge et d'Ortstein, quelquefois aussi le sable plombifère, donnèrent souvent une réaction acide aussi nette.

Comme cette différence nettement prononcée dans les propriétés chimiques des deux formes d'humus exigeait une recherche plus minutieuse touchant la propriété la plus essentielle de la matière humique qu'elles renferment, on entreprit, pour s'orienter, une analyse qualitative des éléments humiques, sur un plus grand nombre d'échantillons de sols forestiers et, comme comparaison, on essaya la réaction sur quelques échantillons de sols de champs et de jardins prélevés sur le terrain de l'École supérieure d'agriculture de Copenhague.

Il ressortit de ces expériences que c'est seulement dans la tourbe et

dans les matières humiques qui se trouvent dans les couches de terre sous-jacentes, qu'on rencontrait particulièrement de l'acide humique et en réalité sous forme d'extrait aqueux, qui parfois renfermait des quantités relativement importantes de ce corps. Ensuite, les échantillons de terre furent traités à chaud par une dissolution étendue de carbonate de soude ; après filtration et précipitation de la liqueur filtrée par de l'acide, on obtint : dans l'extrait tiré de la tourbe, un très riche précipité d'acide humique, dans l'extrait tiré du terreau, un dépôt important, et un précipité non négligeable dans l'extrait tiré du sol riche du champ et du jardin.

De plus, on devait faire une détermination quantitative approximative des éléments humiques, aussi bien que de l'acide humique soluble dans l'eau et dans une dissolution de carbonate de soude.

Pour la détermination des éléments humiques, les échantillons de terre furent desséchés à l'air, puis séchés à 100° et calcinés. La perte par calcination est comptée dans le tableau suivant comme matières humiques et eau combinée chimiquement, quoique cette dernière ne puisse avoir une importance réelle que pour les 15 ou 16 échantillons de sol argileux sur lesquels on a expérimenté.

La détermination quantitative de l'alcali libre et de l'acide humique libre qui prêtent leur réaction aux différentes sortes de sols, s'opéra comme il suit : 25 grammes de terre restèrent 24 heures en contact avec 100 centimètres cubes d'eau distillée, colorée avec une trace de tournesol, dans un flacon hermétiquement fermé avec un bouchon de liège, qu'on agitait fréquemment. Puis, on faisait passer une partie de la liqueur claire, à travers un filtre lavé et desséché ; 50 centimètres cubes de la solution filtrée étaient portés à l'ébullition (100°), pour chasser l'acide carbonique libre. Ensuite on ramenait au volume primitif, en ajoutant de l'eau pour remplacer celle qui s'était évaporée : la dissolution était alors neutralisée avec une solution titrée faible de soude. La quantité d'acide libre est comptée comme acide humique, parce que ce dernier existe en grande quantité et donne, quand ce sont des échantillons riches en humus, des dissolutions aqueuses faiblement colorées. Mais on ne peut cependant pas encore affirmer avec certitude que la réaction acide des couches du sol soit due uniquement à ces acides humiques ; d'autres produits orga-

niques d'oxydation analogues pourraient bien entrer en jeu en même temps; mais seulement comme on a le devoir de déterminer les acides libres, on ne peut s'exposer à aucune faute grave en attribuant à ces corps dans le calcul la formule de l'acide humique. La recherche a été entreprise sur une terre fraîche non desséchée à l'air afin que l'acide soluble ne se transforme pas en acide insoluble par la dessiccation. La quantité d'eau a été déterminée sur une autre partie de l'échantillon. Les échantillons de terreau des forêts de hêtres ont une réaction neutre; la faible coloration rouge qui se produit dans leur dissolution, disparaît aussitôt par l'ébullition et, par conséquent, doit être attribuée à l'acide carbonique. Les essais sur les échantillons de sols prélevés dans les champs et les jardins qui ont une réaction alcaline ont été faits au moyen d'acide oxalique titré et le dosage à l'état d'oxalate d'ammoniaque $(NH^4)_2O$.

Nous donnons ci-après le résultat de ces déterminations quantitatives :

TABLEAU.

NATURE DES ÉCHANTILLONS DE TERRE.	SUR 100 PARTIES DE TERRE séchées à 100 degrés.			SUR 100 PARTIES DE TERRE FRAICHE.		
	Eau perdue par évaporation à 100°.	Humus et eau de composition.	Résidu de la calcination.	Alcali libre soluble dans l'eau froide.	Acide humique libre soluble dans l'eau froide.	Acide humique soluble dans le carbonate de soude.
Terre de jardin.						
1. Jardin de l'École supérieure d'agriculture ayant reçu une forte fumure	3.81	9.29	86.90	0.0085	»	
Terre de champ.						
2. Champ d'expériences de l'École supérieure d'agriculture fumé	3.02	5.11	91.87	0.0060	»	
3. — resté sans fumure depuis 14 ans	3.43	3.38	93.19	0.0026	»	non déterminé
Terreau de forêts de hêtre.						
4. Ergebäksvang.	1.91	5.10	92.99	neutre	neutre	
5. Frederiksdals Skov.	2.49	5.43	92.08	»	»	
6. Frederiksdals Park.	3.62	7.24	89.14	»	»	
7. Store Hareskov. Profil I.	2.08	8.33	89.59	»	»	0.5
Tourbe des forêts de hêtre.						
8. Store Hareskov. Profil IV	5.95	34.70	59.35	—	0.049	8.4
9. Teglstrup Heghn. Profil VII.	9.38	38.88	51.74	—	0.077	9.3
10. Store Hareskov. Profil VI.	8.16	44.08	47.76	—	0.112	
11. Vieille tourbe de forêts de hêtres sur laquelle a crû depuis une longue série d'années l'*Aira flexuosa*. Gribskov.	9.65	48.51	41.84	—	0.287	
12. — (bruyères, airelles, etc.) Lavenskov	9.45	45.55	45.00	—	0.121	
Tourbe de lande.						
13. Portant une végétation de bruyères courtes. Lövstrup Plantage. . . .	7.50	41.50	51.00	—	0.040	
Tourbe. — Terreau.						
14. Teglstrup Hegn. Profil VIII.	14.00	62.50	23.50	—	0.0193	non déterminé
Sable plombifère.						
15. Argile blanchâtre intermédiaire entre la tourbe et la terre rouge. Store Hareskov, Profil VI.	0.77	2.24	96.99	—	traces	
Terre rouge.						
16. Terre rouge argileuse. Store Hareskov, Profil VI.	1.11	3.13	95.76	—	0.013	
17. Terre rouge de pays de landes. Lövstrup Plantage	2.45	6.55	91.00	—	0.034	

Enfin quelques recherches ont été entreprises sur les matières humiques contenues dans une couche correspondant à l'*Ortstein* de *Lakenskov,* près *Silkeborg* (Profil IX). Plateau supérieur recouvert d'un petit bois à 4 pouces ($0^m,1046$) de profondeur; tourbe très tenace, de 3 à 4 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1046$), blanchâtre; sable micacé très fin; en dessous, de l'argile micacée jaune et plastique, dont la partie superficielle est divisée en grumeaux recouverts d'une poudre brun-café. La couche superficielle de ces grumeaux a été séparée par grattage et soumise à une analyse partielle, qui a donné les résultats suivants :

	P. 100.
Matières humiques	3.97
Acides humiques	11.36
Eau hygroscopique	5.29
Cendres	79.38
	100.00

La première chose que l'on remarque dans ces résultats, est la grande différence qui existe entre la teneur du terreau et celle de la tourbe en matières organiques. Puis, il ressort de ces nombres combien grande est la divergence entre la formation de l'humus dans le terreau et dans la tourbe de ces forêts de hêtres. Tandis que, par exemple, dans la tourbe, environ $^1/_4$ de la quantité totale des substances organiques consiste en acide humique, cette proportion se chiffre pour le terreau environ au $^1/_{16}$. Mais cette différence semble encore bien plus grande si l'on considère que les résidus organiques du terreau sont pour la plus grande partie entièrement détruits, alors qu'au contraire la tourbe renferme une très grande quantité de fibres de racines, de débris de feuilles, etc. Il paraît d'après cela vraisemblable que l'excédent des matières humiques acides de la tourbe soit dans le terreau des produits neutres d'oxydation. Dans quelques-unes des déterminations (qui n'ont pas été citées plus haut) des acides humiques dans la terre rouge, principalement dans le profil VIII à *Strandskov,* on voit qu'environ la moitié aux $^3/_4$ de la matière organique consiste en acides, tandis que dans la terre rouge de l'emplacement dont on parle plus bas (le profil XI, sable mouvant dans le *Odsharde),* la presque totalité des

substances organiques qu'elle contient, consiste en acides humiques. La partie des acides humiques qui peut être extraite par l'eau froide, est au contraire très faible, et il est dans la nature des choses qu'il ne peut y avoir que de petites quantités de ces substances qui se trouvent à une époque déterminée dans la tourbe, principalement quand de longues périodes de saison humide sont survenues, comme dans l'automne qui a précédé l'époque de la prise des échantillons.

Le ciment[1] *dans les couches de terre fermes.*

La terre rouge offre une telle dureté, qu'elle prend le caractère d'une formation analogue au grès, qui a une ressemblance frappante avec le véritable grès et s'appelle d'ordinaire de ce nom. Toutefois, comme la préexistence dans tous les cas d'un agrégat d'oxyde de fer avait été mise en doute, on devait chercher à déterminer le ciment des éléments sableux et siliceux de la couche. Les grumeaux durs de la terre rouge des profils V et VIII avaient été traités par divers agents de dissolution, notamment de l'eau froide distillée, de l'eau contenant des traces d'acide chlorhydrique et de l'eau légèrement ammoniacale. Les échantillons traités par l'eau pure conservaient intactes leurs propriétés, même après ébullition. L'eau ammoniacale précipita immédiatement les grumeaux durs sous forme de sable presque pur dans une dissolution fortement colorée en brun. Dans l'eau acide, la précipitation se faisait tout aussi rapidement, mais sans que la dissolution se colorât. De la dissolution ammoniacale, on pouvait, au moyen d'acide, précipiter l'acide humique et la quantité du précipité se trouvait en proportion avec la coloration brune de l'échantillon de terre. D'après cela, il semble que le ciment peut être considéré comme formé par des acides humiques et des sels formés par ces acides ; s'il avait été de l'hydrate d'oxyde de fer, il n'aurait pas été précipité par l'eau ammoniacale.

L'examen du profil V montre clairement que la coloration de la terre rouge est due, dans tous les cas, aux matières humiques. La couche de terre rouge, analogue au grès, qui a une épaisseur d'en-

1. *Das Bindemittel in den festen Erdschichten.*

viron 16 pouces ($0^m,4284$), a en général une couleur jaune-brun sale; mais plusieurs parties qui traversent la couche sous forme de filons et de cônes, sont brun foncé. Dans ces parties différemment colorées, on a déterminé les quantités d'humus (par la perte au rouge) et l'oxyde de fer, et on obtint les résultats suivants:

		P. 100.
Dans la terre rouge-brun clair. . .	Oxyde de fer.	0.46
	Acide humique.	2.20
— brun foncé. . .	Oxyde de fer.	0.47
	Acide humique	4.40

Parfois, le sable plombifère a aussi la fermeté du grès, comme, par exemple, dans le profil IX dans *Lavenskov* et dans le profil VIII dans *Strandskov*. Une recherche identique démontra que, vraisemblablement, le ciment consiste dans cette couche aussi en acides humiques et sels formés par ces acides.

Par contre, on constata que les grumeaux de la couche de terre blanchâtre, très compacte, qui existe sous le terreau, dans la partie supérieure du sous-sol, ne sont en aucune façon influencés par l'eau ammoniacale ou acide, tandis que par l'ébullition avec l'eau distillée, les grumeaux se précipitent lentement, en laissant une dissolution argileuse. Dans ce cas, le ciment ne peut donc consister ni en carbonate de chaux, ni en acide humique, ni en combinaisons humiques, mais il semble devoir être remplacé dans ces corps par des particules d'argile cimentées ensemble.

Méthode de classification du Dr Schütze.

Le docteur Schütze a publié un procédé permettant de déterminer exactement, par un moyen simple et qui peut être employé par le praticien, la teneur d'un sol humique en sels solubles, en éléments nutritifs des plantes [1]. Quand on traite, dit-il, un échantillon de sol par de l'eau ammoniacale ou une lessive de soude étendue,

1. W. Schütze, *Beziehung zwischen chemischer Zusammensetzung und Ertragsfähigkeit des Waldbodens* [*Rapport entre la composition chimique et la fertilité du sol forestier*]. (Dankelmann, *Zeitschr. für Forst- u. Jagdw.*, Berlin, I. Bd, 1869, p. 523. III. Bd, 1871, p. 376.)

qu'on agite le mélange et qu'on laisse se déposer le précipité, la liqueur qui surnage au-dessus du précipité est d'autant plus claire que la terre est plus riche en sels, et d'autant plus colorée, qu'elle est plus pauvre. La coloration de la solution ammoniacale doit dépendre de la quantité d'acide humique. La cause de cette relation doit reposer sur ce fait que les acides humiques, par eux-mêmes facilement solubles dans les alcalis, deviennent insolubles par suite de la présence de sels solubles.

Les recherches précédentes sur les matières humiques du sol de terreau m'ont donné l'occasion d'éprouver la facilité d'application de cette méthode extrêmement simple.

Les échantillons des diverses sortes de terres, riches en humus, sur lesquelles on a opéré (plus haut) ont été placés dans de l'eau légèrement ammoniacale et traités ensuite par la méthode décrite par Schütze. Il résulta de ces expériences que les échantillons 1-3 de terre de jardin et de terre de champ donnèrent une solution argileuse gris verdâtre, les échantillons de terreau (forêts de hêtres) 4-7 une dissolution fortement colorée brun-café, et les échantillons de tourbe une dissolution presque noire. On jugera d'après cela que la couleur dépend de la forme de l'humus : particulièrement, les échantillons de *Store Hareskov* nous ont permis de tirer une conclusion directe sur la coloration et la teneur en acide phosphorique, potasse et chaux, ainsi que les éléments dont les sels, comme l'a admis Schütze, peuvent diminuer la facilité de dissolution des acides humiques dans une solution alcaline. La tourbe de *Store Hareskov* renferme notamment (Profil IV) 0,060 p. 100 d'acide phosphorique, 0,226 p. 100 de chaux et 0,059 p. 100 de potasse ; elle donna une dissolution presque colorée en noir. Au contraire, le terreau provenant de la même forêt (Profil I) contenait seulement 0,037 p. 100 d'acide phosphorique, 0,049 p. 100 de chaux et 0,037 p. 100 de potasse et donna une dissolution beaucoup plus claire, brun-café. Le rapport était donc l'inverse de celui qui devait exister d'après les données de Schütze.

Nous n'avons pas l'intention de discuter toute la commodité qu'offre en raison de sa grande simplicité cette jolie méthode, mais nous voulons seulement faire ressortir qu'elle est, comme le pense

Schütze, difficilement indépendante du rapport existant entre la quantité des acides humiques préexistants et la teneur en sels solubles, et que, par conséquent, elle peut s'employer utilement, seulement pour les concrétions humiques de même constitution, principalement pour le terreau proprement dit.

Les parties constitutives des différents sols et les éléments solubles dans l'acide chlorhydrique.

Les échantillons de terre sur lesquels on a expérimenté, après avoir été desséchés à l'air, ont été passés à travers un tamis à mailles métalliques de 2 millimètres; ce qui est resté sur le tamis a été compté comme pierres dans les tableaux suivants. La partie tamisée des échantillons ainsi traités et débarrassés de pierres a été soumise à l'analyse mécanique et à l'analyse chimique.

Comme nous avions le devoir de déterminer les éléments solubles contenus dans ces échantillons de terre et, de plus, d'établir la part de ce qui se trouve combiné aux corps humiques, il était donc nécessaire d'éliminer ceux qui étaient présents en trop grande quantité. Les échantillons de terre, riches en humus, ont été calcinés avant leur traitement par l'acide chlorhydrique dans un moufle, mais exactement jusqu'au point nécessaire pour la carbonisation. Au contraire, les échantillons pauvres en humus ne furent pas soumis à ce traitement : mais la terre, débarrassée de pierre et séchée à l'air, fut traitée directement par l'acide chlorhydrique.

Voici comment fut entrepris le traitement par l'acide chlorhydrique : 100 grammes de terre furent traités à chaud jusqu'à l'ébullition par 500 centimètres cubes d'acide chlorhydrique de densité de 1,10. Le titre de l'acide chlorhydrique a été choisi de telle sorte qu'il ne puisse pas décomposer beaucoup les silicates décomposables. Après le chauffage, nécessaire pour dissoudre l'oxyde de fer, maintenu pendant une heure, on obtenait un résidu gris ou blanchâtre de sable ou d'argile, qui, traité ensuite par l'acide chlorhydrique concentré, ne donnait plus trace d'oxyde de fer. L'ébullition éliminait l'acide chlorhydrique par évaporation. La dissolution ainsi obtenue était, après refroidissement, étendue

avec de l'eau filtrée et le résidu insoluble soigneusement lavé. Après avoir additionné la solution d'un peu d'acide azotique pour détruire les matières organiques, on l'évaporait à sec. Le résidu était ensuite humecté avec de l'acide chlorhydrique concentré, repris par l'eau et filtré; le résidu insoluble ainsi obtenu, desséché, calciné au rouge et pesé; il est compté dans les tables suivantes comme acide silicique. Puis, la dissolution fut étendue à 200 centimètres cubes et c'est dans cette dissolution que, pour la plupart des échantillons de terre, on détermina la teneur en acide phosphorique, acide sulfurique, oxyde de fer, alumine, chaux, magnésie, potasse et soude, et les petites quantités de silice soluble restée dans la liqueur.

Sur la partie des échantillons de terre, résidu du traitement par l'acide chlorhydrique, on entreprit l'analyse mécanique, au moyen de tamis à mailles de différentes finesses. La partie de la terre qui ne passe pas à travers le tamis à mailles de 1 millimètre est considérée comme gravier, et ce qui reste sur le tamis à mailles de 1/3 de millimètre est compté comme sable grossier. L'argile fut séparée du résidu par lévigation et le dernier résidu pesé, compté comme sable fin. L'alumine a donc été déterminée par différence, après lévigation en soustrayant les quantités de tous les éléments déterminés, du poids total de la terre.

Les matières humiques et l'azote ont été déterminés par l'analyse élémentaire; la somme de ces deux corps et de l'eau hygroscopique donna, par différence avec la perte au rouge, l'eau combinée chimiquement. Enfin, l'humidité qui disparaît par la dessiccation des échantillons de terre à l'air à 100°, a été donnée comme eau hygroscopique.

La quantité de sable fin, d'argile, de matières humiques, d'azote, d'eau hygroscopique et d'eau chimiquement combinée, représente la terre fine de Knop.

Le sable fut soumis, pour un certain nombre d'échantillons, à l'examen minéralogique et le fait capital constaté fut que la masse principale consistait en un mélange de sable quartzeux, de particules de granit, feldspath, mica, sable titané et sable contenant de l'oxyde de fer magnétique.

Comme le but principal des analyses consistait à rechercher comment se comportait la quantité des éléments solubles dans les acides étendus pour les diverses couches du sol, on était conduit à employer un dissolvant agissant avec la même force sur les différentes sortes de sol. A franchement parler, cela ne peut pas avoir grande valeur pour toute la masse, bien qu'on puisse garantir d'une façon absolue la méthode dont on s'est servi, parce qu'elle est employée généralement dans toutes les recherches de ce genre. Il est pour ainsi dire possible que les échantillons de terre, épuisés à l'ébullition par l'acide chlorhydrique, ne soient pas carbonisés, contiennent encore après ce traitement un peu de matière organique et aient retenu encore de petites parties de matière inorganique solubles et des combinaisons formées avec des matières humiques et analogues.

L'attention est attirée sur la signification de ces matières restées dans le sol, surtout par les recherches de Grandeau[1], et aussi ai-je cherché, en employant sa méthode, à déterminer la part qu'on doit attribuer à l'acide phosphorique, à la chaux et à la potasse sous une forme accessible à la plante, qui, même encore après l'épuisement par l'acide chlorhydrique, sont restés dans la terre. Pour cette recherche, j'ai choisi les échantillons de l'humus fortement coloré de la couche superficielle du sol (Profil III), dont la teneur en matières organiques s'élève à 2.67 p. 100 et les échantillons du sous-sol du même profil (0.29 p. 100 d'humus). Après que ces deux échantillons eurent été traités à chaud par l'acide chlorhydrique de la façon indiquée précédemment, on les reprit par de l'eau ammoniacale, puis on filtra la solution, évapora à sec la liqueur filtrée et calcina faiblement. Les résultats furent les suivants :

---

1. Voyez *Jahresberichte über die Fortschritte a. d. Gesammtgebiete d. Agricultorchemie*, 1870-1872, p. 74.

	SOLUBLE dans l'acide chlorhydrique.	SOLUBLE dans l'ammoniaque après épuisement à chaud par l'acide chlorhydrique.
Dans le sol.		
Acide phosphorique	0.065	0.015
Chaux	0.032	0.008
Potasse	0.040	0.005
Dans le sous-sol.		
Acide phosphorique	0.095	0.002
Chaux	0.099	traces.
Potasse	0.097	traces.

La méthode de L. Grandeau paraît donc donner, pour l'acide phosphorique, des chiffres trop élevés, mais la différence est si peu importante qu'elle ne peut amoindrir à un degré dangereux l'exactitude des conclusions qu'on peut tirer de ces analyses.

Nous communiquons ci-après les résultats des recherches, avec une courte description des profils sur lesquels on a expérimenté.

Sols de terreau dans les forêts de hêtres.

Profil I. *Store Hareskov*. 2. District forestier d'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Terrain plat, bien aplani à la bêche. Taillis de hêtres élevé en futaie pleine, âgé de 30 ans, en bonne croissance. A 2 pouces (0^m,0523), terreau noir ; à 18 pouces (0^m,4807), sous-sol gris-jaune, mouvant et sableux ; à 16 pouces (0^m,4284), couche supérieure du sous-sol silicéo-argileux, très compacte et le plus souvent blanchâtre, mais pourtant, par places, couleur d'ocre. Ce sous-sol est formé de sable fortement argileux et d'argile siliceuse. Les sortes de terre analysées ont été extraites de trois trous, à une distance l'un de l'autre d'environ 552^m,24 (40 *Ellen*) ; chaque échantillon est d'après cela un mélange des trois prises d'échantillons qui représentent la même couche en trois endroits différents.

INDICATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie.		
	0—2".	2—6".	6—12".
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	11.11	11.70	14.28
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.85	1.80	2.24
Sable grossier	11.50	13.48	14.24
Sable fin	63.27	66.20	62.15
Argile	11.48	12.13	14.98
Humus	7.47	2.92	2.08
Eau hygroscopique	2.08	1.30	1.40
Eau combinée chimiquement	0.86	0.73	0.95
Soluble dans l'acide chlorhydrique	1.49	1.44	1.96
	100.00	100.00	100.00
Dont azote	0.268	0.107	0.075
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Acide silicique	0.115	0.140	0.150
— sulfurique	0.038	0.019	0.012
— phosphorique	0.037	0.023	0.017
Alumine	0.443	0.404	0.682
Oxyde de fer	0.719	0.759	0.996
Chaux	0.049	0.028	0.038
Magnésie	0.034	0.023	0.029
Potasse	0.037	0.025	0.026
Soude	0.022	0.019	0.008
	1.494	1.440	1.958

Le gravier consiste en fragments arrondis de granit, feldspath et quartz, le sable principalement en grains de quartz avec des grains de feldspath, des paillettes de mica et du sable ferrugineux.

Profil II. *Rungsted Hegn.* District forestier de l'État de Hirscholm (*Seeland*). — Terrain plat, bien aplani à la bêche et haut placé. Forêt de hêtres, en futaie irrégulière, âgée de 20 à 60 années, avec quelques frênes, érables et chênes disséminés. A 3 pouces (0^m,0784),

terreau noir ; à 30 pouces (0^m,8246), terreau noir foncé, exceptionnellement mouvant et léger ; sous-sol silicéo-argileux ; à 10 pouces (0^m,2615), couche supérieure du sous-sol, très tenace, blanchâtre, silicéo-argileuse, qui est formée d'argile sableuse. Les échantillons analysés ont été extraits d'un trou et choisis de telle façon qu'ils puissent représenter les parties supérieure et inférieure du sous-sol et le sous-sol qui est d'une couleur d'ocre exceptionnelle.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SOL.		SOUS-SOL.	
	Couche supérieure.	Couche inférieure.	Couche supérieure.	Couche inférieure.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	11.51	10.46	10.96	14.62
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	2.23	1.32	1.95	1.80
Sable grossier	12.45	12.85	12.30	10.26
— fin	56.42	61.05	56.00	50.15
Argile	23.40	21.49	27.22	33.96
Humus	2.67	1.23	0.31	0.29
Eau hygroscopique	1.76	1.21	1.30	1.98
Eau combinée chimiquement	1.07	0.85	0.92	1.56
	100.00	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.065	0.110	0.050	0.095
Oxyde de fer	1.253	1.362	1.866	2.643
Chaux	0.032	0.024	0.056	0.099
Potasse	0.052	0.052	0.042	0.097
	1.390	1.548	2.014	2.934

Profil III. *Gelsskov.* 1. District forestier d'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Côté nord-est de la montagne de *Gels,* sur une partie en pente douce, exempte d'humidité persistante. Très belle forêt de hêtres (60 années) en excellente croissance. A 3 pouces (0^m,0784), terreau noir ; à 10 pouces (0^m,26154), sous-sol silicéo-argileux, gris-jaune, meuble ; à 8 ou 10 pouces (0^m,2092 ou 0^m,2615), couche du

sous-sol silicéo-argileux, couche supérieure du sous-sol un peu compacte et blanchâtre, composée d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés d'un trou et choisis de telle sorte qu'ils puissent représenter les parties supérieure et inférieure du sol, la couche compacte et blanchâtre du sous-sol, et le sous-sol, coloré d'une façon variable.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SOL.		SOUS-SOL.	
	Couche supérieure.	Couche inférieure.	Couche supérieure.	Couche inférieure.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	10.10	10.17	9.87	13.96
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	1.35	1.13	1.25	1.10
Sable grossier	10.33	11.21	10.27	10.10
— fin	62.91	59.56	51.70	47.25
Argile	20.58	22.79	32.60	35.91
Humus	2.11	1.56	0.29	0.14
Eau hygroscopique	1.47	2.80	1.73	3.10
Eau combinée chimiquement	1.25	0.95	2.16	2.40
	100.00	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.045	0.050	0.056	0.074
Oxyde de fer	0.880	1.040	1.680	2.240
Chaux	0.040	0.026	0.032	0.076
Potasse	0.026	0.030	0.088	0.102
	0.991	1.146	1.856	2.492

Sol recouvert de tourbe dans les forêts de hêtres.

Profil IV. *Store Horeskov*. 2. District forestier de l'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Terrain plat sans eau stagnante. Futaie irrégulière, forêt de hêtres âgée d'environ 150 ans, d'une croissance qui n'est pas particulièrement bonne. A 3 pouces ($0^m,0784$), tourbe extrêmement tenace ; à 2 ou 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$), sable plombifère ; à 3 à 5 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1307$), terre rouge : toutes

les couches sont liées très étroitement et ne sont pas remarquablement tenaces. Sous-sol silicéo-argileux. Les échantillons analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	4.89	13.06	15.71
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	0.00	0.77	1.14	2.55
Sable grossier	0.20	12.90	10.68	14.21
— fin	48.10	79.35	72.30	67.43
Argile	9.80	4.95	9.06	9.42
Humus	34.27	1.15	3.45	1.63
Eau hygroscopique	5.95	0.31	0.92	0.97
Eau combinée chimiquement	0.43	0.15	0.37	0.31
Soluble dans l'acide chlorhydrique	1.25	0.42	2.08	3.48
	100.00	100.00	100.00	100.00
Dont azote	0.619	0.056	0.054	0.029
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide silicique	0.083	0.040	0.114	0.051
— sulfurique	0.052	0.008	0.020	0.011
— phosphorique	0.060	0.021	0.062	0.037
Alumine	0.289	0.120	0.899	1.527
Oxyde de fer	0.359	0.167	0.846	1.684
Chaux	0.226	0.019	0.041	0.038
Magnésie	0.094	0.017	0.046	0.052
Potasse	0.059	0.020	0.034	0.055
Soude	0.030	0.012	0.019	0.028
	1.252	0.424	2.081	3.483

Le gravier consiste en partie en grains de quartz angulaires ou arrondis, et de plus, en fragments de granit et de feldspath. Le sable est formé principalement de grains de quartz avec quelques fragments de feldspath, un peu de mica et de sable de fer titané.

Profil V. *Strandskov, Telgstrup Hegn.* 1. District forestier de l'État *Kronborg* (*Seeland*). — Creusement profond et bas du terrain, bien irrigué. Futaie pleine de hêtres, âgée de 20 ans, en bon état de croissance ; de 4 à 6 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1569$), tourbe analogue au terreau, mouvante, à grains fins ; de 3 à 4 pouces, sable plombifère très tenace, clair et inégalement coloré en noir ; de 2 à 3 pouces, terre rouge très tenace, rouge brun, d'une coloration inégale ; les séparations des couches indistinctes. Sous-sol formé de sable argileux. Les échantillons analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	3.52	6.60	4.20
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.30	2.30	2.70
Sable grossier	19.48	21.30	19.30
— fin	62.12	58.70	62.00
Argile	13.20	9.20	11.60
Perte au rouge	3.90	8.50	4.40
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Oxyde de fer	0.11	0.32	0.77

Profil VI. *Store Hareskov.* 2. District forestier de l'État de *Copenhague* (*Seeland*). — Enfoncement entre deux parties élevées, humide, mais sans eau dormante. Forêt de hêtres, âgée de 150 ans, élevée en futaie irrégulière, en très bon état de croissance dans la partie environnante, haut placée, parties du terrain riches en terreau ; à 2 ou 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$), tourbe qui n'est pas remarquablement tenace ; à 5 pouces ($0^m,1307$), argile blanchâtre, uniformément colorée, à la place de sable plombifère ; à 5 pouces, terre rouge-brun argileuse ; les séparations entre les trois couches sont

parfaitement nettes. Le sous-sol est formé d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été tirés d'un trou.

DÉSIGNATION des échantillons analysés.	ARGILE blanchâtre.	ARGILE rouge brun.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	0.00	0.00
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée de pierres.*			
Gravier	1.62	2.31	2.45
Sable grossier	67.98	66.01	63.65
Argile	26.87	26.16	22.45
Humus	1.12	1.52	1.21
Eau hygroscopique	0.77	1.11	2.01
Eau chimiquement combinée	1.12	1.61	2.81
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.52	1.28	5.42
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Acide silicique	0.038	0.050	0.057
— phosphorique	0.025	0.089	0.040
Oxyde de fer	0.336	0.976	5.115
Chaux	0.026	0.033	0.027
Potasse	0.097	0.135	0.186
	0.522	1.283	5.425

Profil VII. *Strandskov, Telgstrup, Hegn.* 1. District forestier de l'État de *Kronborg* (*Seeland*). — Plateau élevé, sec près de la pente de la montagne, dans les parties basses. Ancienne coupe d'ensemencement, ouverte, hêtres en partie à cimes desséchées (200 ans), trop petits, avec une croissance très restreinte. A 2 pouces ($0^m,053$), tourbe compacte et tenace ; de 3-4 pouces ($0^m,0784$-$0^m,1046$), sable plombifère ; 4 à 5 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1307$), terre rouge : toutes les couches sont très denses, avec des délimitations très nettes. Le sous-sol est formé d'argile sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été tirés de trois trous, distants l'un de l'autre d'environ $414^m,18$;

chaque essai est fait sur un mélange des trois, qui représentent la même couche en trois endroits.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE.	SABLE plumbifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre desséchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.00	7.35	10.63	16.81
b) *Terre desséchée à l'air et débarrassée des pierres.*				
Gravier	0.74	1.25	1.15	2.21
Sable grossier	6 75	18.85	17.95	14.99
— fin	23.90	58.44	50.07	46.80
Argile	18.83	16.79	19.87	26.01
Humus	37.34	2.63	3.91	1.32
Eau hygroscopique	9.38	0.66	1.83	2.45
Eau chimiquement combinée	1.54	0.62	0.83	1.73
Soluble dans l'acide chlorhydrique	1.52	0.76	4.39	4.49
	100.00	100.00	100.00	100.00
Dont azote	0.876	0.069	0.109	0.072
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide silicique	0.054	0.033	0.037	0.074
— sulfurique	0.083	0.017	0.027	0.018
— phosphorique	0.129	0.013	0.025	0.026
Oxyde de fer	0.648	0.412	1.456	2.048
Alumine	0.344	0.264	2.774	2.206
Chaux	0.096	0.010	0.038	0.034
Magnésie	0.048	0.008	0.024	0.026
Potasse	0.088	0.005	0.012	0.056
Soude	0.025	traces.	0.004	0.011
	1.515	0.762	4.397	4.449

Profil VIII. *Strandskov, Teglstrup Hegn.* 1. District forestier de l'État de *Kronborg* (*Seeland*). — Plateau élevé, tout au bord de la forêt, tout près de la côte. Ancienne coupe d'ensemencement, ouverte, hêtres de 200 ans, bas, en partie à cimes desséchées, dans un

état de petite croissance. De 4 à 5 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1307$), tourbe compacte et tenace ; de 6 à 7 pouces ($0^m,1569$ à $0^m,18307$), sable plombifère blanc-gris ; environ à 16 pouces ($0^m,4284$), terre rouge entièrement compacte ou sablonneuse, de couleur entièrement brun clair ou jaune-brun, avec des filons et des taches brun foncé ; à travers la terre rouge passe un prolongement en forme de cheminée du sable plombifère qui descend dans le sous-sol. Toutes les couches sont nettement délimitées. Le sous-sol est formé d'argile fortement sableuse. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés à différentes places d'un profil très large, de sorte que plusieurs essais représentent le mélange de deux échantillons. Les nombres admis pour la terre rouge représentent les moyennes de deux séries de recherches exécutées sur deux échantillons séparés et travaillés, dont l'un a été prélevé sur la partie claire et l'autre dans la partie foncée.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
a) *Terre séchée à l'air.*	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Pierres	0.80	1.70	2.00
b) *Terre séchée à l'air et débarrassée des pierres.*			
Gravier	1.70	2.00	1.50
Sable grossier	19.90	21.45	29.00
— fin	68.10	69.40	54.70
Argile	8.90	3.85	11.80
Perte au rouge	1.40	3.30	3.00
	100.00	100.00	100.00
c) *Soluble dans l'acide chlorhydrique.*			
Oxyde de fer	0.05	0.47	1.32

Sol recouvert de tourbe portant une végétation de bruyères.

Profil XI. *Sonneruper Plantage.* District forestier d'État de *Odsharde* (*Seeland*). — Étendue de sable mouvant haut placée, près

de la mer ; exceptionnellement sec, sur lequel croît une végétation misérable de bruyères et de plantes silicicoles.

Le terrain était vraisemblablement autrefois uniquement couvert de bruyères ; mais le versant escarpé du côté de la mer, sur lequel on a prélevé les échantillons soumis à l'analyse, témoigne de ce fait que des parties importantes de ces dépôts considérables de sable mouvant ont été apportés par l'eau. La végétation des bruyères proprement dite, ainsi que leur tourbe, commence maintenant environ à 50 pas du bord escarpé. A 2 à 3 pieds ($0^m,6277$ à $0^m,9415$) de profondeur, on trouve un sable blanc avec une quantité assez considérable de particules indépendantes d'humus mélangées ensemble, de filaments de plantes, charbon humique, etc. ; de 2 à 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$), une terre rouge, noir-brun, sablonneuse, très dure ; le sous-sol est du sable marin jaunâtre. Tous les profils semblables se présentent au fossé, sur d'autres places dans la partie de cette étendue de sable recouverte de tourbe et dans la partie sur laquelle croît la bruyère, comme aussi dans la lande de *Aelling* qui n'en est pas éloignée. Les échantillons de terre analysés ont été prélevés à une place sur le versant.

DÉSIGNATION des éléments analysés.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Humidité	0.67	1.56	0.25
Sable	97.03	95.65	98.99
Matière humique, presque exclusivement formée d'acide humique	1.98	2.05	0.31
Oxyde de fer	0.32	0.74	0.45
	100.00	100.00	100.00

Sols de bruyère jütlandais. — Les données analytiques publiées ci-après sont les résultats finaux d'un travail publié en 1876 (*Einige Analysen von jütischen Haideböden,* Tidsskr. f. Skovbr. Bd. I) dont il est parlé dans ce livre, page 62.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	TOURBE de bruyère.	SABLE plombifère.	TERRE rouge.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
Colline de landes près Herning.				
a) *Terre séchée à l'air, exempte de pierres.*				
Gravier et sable grossier	46.45	89.00	70.84	87.52
Sable fin	3.87	4.37	2.70	2.90
Humus	36.03	2.80	12.02	2.59
Eau hygroscopique	6.05	0.53	4.48	1.12
Argile	6.66	2.81	5.80	2.50
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.94	0.49	4.16	3.37
	100.00	100.00	100.00	100.00
Dont azote.	0.587	0.038	0.170	0.027
b) *Matières solubles dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.044	0.011	0.038	0.031
Alumine.	0.218	0.265	0.170	1.695
Oxyde de fer.	0.451	0.182	3.720	1.462
Chaux	0.088	0.007	0.096	0.039
Magnésie	0.053	0.005	0.032	0.040
Potasse	0.055	0.017	0.032	0.084
Soude	0.032	0.005	0.037	0.021
	0.941	0.492	4.166	3.372
Vallée de bruyères près Herning.				
a) *Terre séchée à l'air, exempte de pierres.*				
Gravier et sable grossier	80.19	95.99	82.40	95.44
Sable fin	1.79	1.84	1.65	0.33
Humus	13.24	1.76	11.96	1.21
Eau hygroscopique	4.17	0.24	2.32	0.91
Argile	traces.	traces.	traces.	1.26
Soluble dans l'acide chlorhydrique	0.61	0.17	1.67	0.85
	100.00	100.00	100.00	100.00
Dont azote.	0.205	0.022	0.215	0.010
b) *Matières solubles dans l'acide chlorhydrique.*				
Acide phosphorique	0.029	0.005	0.039	0.008
Alumine.	0.382	0.086	0.804	0.191
Oxyde de fer.	0.142	0.053	0.791	0.632
Chaux	0.030	0.008	0.007	0.006
Magnésie	0.009	0.009	0.005	0.002
Potasse	0.015	0.006	0.018	0.012
Soude	0.006	0.005	0.008	0.004
	0.613	0.172	1.672	0.855

II.

Sur les formes de l'humus dans les forêts de chênes et les landes (1884).

Depuis 1878, année où la première partie de ces études a paru, notre connaissance du sujet des présentes recherches a pris une extension considérable, par suite d'une série de contributions littéraires dues à différents auteurs.

Parmi les publications de ces cinq années, il faut compter au premier rang le grand travail de Charles Darwin sur l'activité des vers de terre au service de la formation de l'humus, par lequel les observations et les conclusions, qui formaient le point essentiel de la première partie de nos études, ont reçu un puissant appui, et, à la vérité, en partie directement par l'excellente œuvre de Darwin et en partie indirectement par l'importance que son nom célèbre pouvait donner à ces recherches, aussi bien que par les travaux critiques qu'il a occasionnés, parmi lesquels celui de Hensen est particulièrement important. Mais aussi la connaissance des procédés physiques et chimiques dans le sol, sur lesquels on avait également appelé l'attention dans la première partie, a reçu une grande extension par d'importantes contributions, comme, par exemple, les recherches de König sur le pouvoir absorbant des matières humiques.

Plus tard, la série d'études parue en l'année 1878 a provoqué même des remarques critiques d'autres auteurs, qui, de très nombreux côtés, ont apporté un éclaircissement à la question : ce qui est dû surtout à Emeis.

Enfin l'auteur lui-même, dans la *Letterstedschen Zeitschrift für Wissenschaft, Kunst, u. s. w.*, en l'année 1879, a donné une première communication, dans une petite note intitulée *Quelques traits de l'histoire naturelle de la forêt,* des résultats des recherches qui doivent être exposées dans cette seconde partie, et cette note a été introduite dans la littérature étrangère par le professeur Metzger dans les *Forstliche Blätter.*

Les conditions déterminantes qui ont servi de règle pour le plan

de la première partie de ces études, ont éprouvé un changement essentiel dans les cinq années écoulées, si bien que je projetai, en 1878, de travailler sur un domaine tout à fait inconnu, et c'est d'après cela que j'organisai le plan d'exposition. Comme les recherches ne s'appuyaient pas directement sur les communications d'un prédécesseur, je fis de ma propre série d'observations les bases de ce travail, tandis qu'une recherche de ce genre débutant d'ordinaire par une discussion (*Orientirung*) des travaux antérieurs faits sur le même sujet, le développement se poursuit d'après des connaissances déjà acquises. Pour la présente contribution, cette forme traditionnelle aurait pu être employée avec succès aujourd'hui ; mais cependant notre désir de conserver la même forme aux deux parties du travail nous a conduit à adopter le même plan.

Au même degré que pour la première, les recherches du professeur Tuxen ont apporté une contribution importante à cette seconde partie, et je me fais un devoir d'exprimer ici mes remercîments les plus affectueux à mon infatigable collaborateur pour son assistance merveilleuse et toujours prête. Les déterminations qu'il a entreprises à ma requête sont communiquées dans un appendice particulier à la fin de ce mémoire.

Des travaux professionnels et littéraires d'un autre genre ont retardé la publication de ces études qui, en réalité, étaient déjà terminées il y a deux ans.

OBSERVATIONS

La forêt de chênes.

Les différentes formes sous lesquelles se présente, en Danemark, la forêt de chênes naturelle ont été soumises par Vaupell à une étude si habile et si exacte, qu'une étude poussée plus loin de ces formes intéressantes ne peut, excepté pour des faits particuliers, amener à une expression plus nette que celle que cet auteur a donnée dans les traits essentiels. La courte discussion qui suit sur les formes principales de la forêt de chênes doit, à cause de cela, être considérée avant tout comme une récapitulation de données connues pour

la plus grande partie, mais pourtant nécessaires à l'intelligence des chapitres suivants.

Les recherches de Steenstrup et de Vaupell, confirmées par des observations variées d'autres auteurs, éparses et notées seulement en partie dans la littérature, ont établi que notre pays était autrefois recouvert d'une végétation de forêts de chêne étendues et réunies ensemble. Plus tard, Vaupell nous a montré que la cause principale de la disparition des forêts de la plus grande partie du pays, après l'intervention de l'homme, devait être cherchée dans la relation du chêne avec d'autres arbres et particulièrement avec le hêtre, qui, partout où il immigre dans des emplacements qui lui permettent un développement puissant, a supplanté le chêne. Enfin, il est reconnu que les places où les forêts de chêne se sont maintenues le plus longtemps avec leur forme d'origine jusqu'à notre époque, sont les sols argileux, durs, fertiles, frais jusqu'à l'humidité, ou mouillés, tout aussi bien que les sols sableux secs du Jütland moyen. De toutes les formes intermédiaires entre ces emplacements au plus haut point différents, les forêts de chênes ont si complètement disparu, par suite de l'invasion progressive du hêtre, qu'à part de vieux chênes disséminés dans les forêts de hêtres, il n'en est resté qu'un petit nombre qu'on trouve par hasard çà et là. Du temps de Vaupell, il y avait encore, dans la plupart des contrées, une grande quantité de chênes isolés dans les forêts de hêtres; mais dans les trente dernières années, le nombre de ces restes intéressants de forêts de hêtres d'une époque disparue a été très limité, sur de tels emplacements du centre, par une forte exploitation.

Une étude de la forêt naturelle de chênes, en Danemark, doit donc s'occuper de deux types principaux, c'est-à-dire celui qui est chez lui (*zu Hause ist*) sur un sol argileux ou alumineux, dur et humide, et aussi celui qui croît sur le sol sableux sec et maigre du Jütland central qui, d'ailleurs, pour la plus grande partie, appartient à la lande.

Les forêts de chênes sur les sols argileux ont été, de préférence, l'objet des recherches de Vaupell, et je n'ai rien à ajouter à l'excellente description qu'il en a faite. Elles concernent, comme on sait, surtout des arbres à basse tige, avec de larges couronnes très espacées, si bien que le nombre des vieux chênes dépasse à peine 50 par

hectare. Leur forte ramure et leurs formes puissantes, tortueuses, représentent une série de particularités locales, dues vraisemblablement en partie à l'influence qu'exercent sur la forme le sol et la rivalité d'autres essences forestières, et, en partie, à l'espacement des chênes et à l'histoire de leur développement. Leur hauteur est, en général, assez considérable ; dans quelques forêts, elle ne dépasse pas, en réalité, 40 pieds (12m,55), alors que dans d'autres elle atteint 18m,88 à 21m,96 de bois. Caractéristique pour ces forêts est le sous-bois, dans lequel le noisetier joue le rôle principal, tandis qu'à quelques places il est formé d'aubépine ou bien d'aupébine mélangée à du coudrier. A cela viennent s'ajouter, en quantité plus ou moins grande suivant l'emplacement, une série d'autres arbres ou arbrisseaux, parmi lesquels la bourdaine, le sureau et le charme sont les plus importants. Là où ce sous-bois est resté en quelque sorte sans dérangement, il forme un épais hallier sous les chênes ; ou, quand il est plus vieux, un dais de feuillage bas, mais épais et ombreux, sur lequel les chênes élèvent leur couronne comme un deuxième étage. Nous avons emprunté la figure caractéristique 11 pour l'illustration de ce type de forêt à Vaupell.

Les forêts de chêne sur le sable de lande maigre du Jütland n'ont pas été étudiées d'une façon aussi complète par Vaupell que les forêts de même espèce sur les sols argileux, et comme elles ont une importance particulière pour la présente recherche, nous voulons essayer d'en donner ici une description plus complète.

La plus importante et la plus intéressante de ces forêts de chênes est celle de Hald, au sud-est de Viborg, d'une superficie de 254 hectares. La meilleure partie de cette forêt se tient sur un terrain plat, assez bas placé et elle est couverte d'arbres bien conformés, âgés de 100 à 200 ans et d'une hauteur de 40 à 50 pieds (12m,55 à 15m,69)[1], qui çà et là sont mélangés avec des classes d'âge plus jeunes, c'est-à-dire de 40 à 50 ans. La fin du peuplement est tout à fait voisine du peuplement de hêtres sur le sol argileux. Les tiges ne sont pas longues et se touchent rarement l'une l'autre. La hauteur n'est, à la

1. Je dois les mesurages d'âge, de grandeur et d'accroissement des chênes dans la forêt de Hald, que je communique ici, aux recherches du candidat forestier A. Steen.

vérité, pas beaucoup plus petite que celle de beaucoup de forêts de chênes des îles sur un bon sol, mais les dimensions de la tige sont plus petites, ordinairement 12 à 24 pouces ($0^m,313$ à $0^m,627$); la moyenne de la hauteur de 10 tiges sans écorce se montait à 4 pieds 17 pouces ($1^m,595$) au-dessus de la terre.

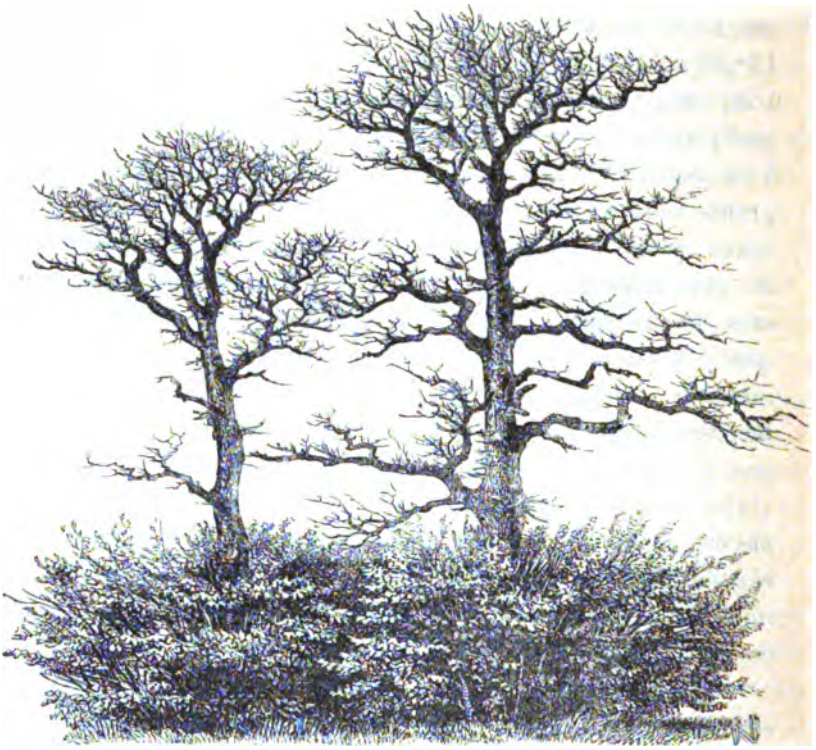


Fig. 11. — Chênes pédonculés dans le sous-bois de Hasel de Enghave près Svendstrup (Seeland) [d'après Vaupell].

A celui qui est habitué à voir les forêts des îles et du Jütland oriental, la végétation dans ces forêts de chênes sur sol sableux doit faire l'impression de la pauvreté, même de la ruine. Mais une étude plus attentive montre que cette première impression se justifie difficilement. Il y a, dans la meilleure partie de la forêt de chênes de Hald, une plénitude dans la végétation arbustive, qui doit surprendre quand on prend en considération la pauvreté du sol. Beaucoup d'ar-

bres, âgés de 100 à 200 ans, ont des couronnes fraîches et pleines, et leur accroissement est relativement un peu plus petit que celui des arbres du même âge sur de meilleur sol. Il en est de même pour la forêt de chênes près de Sōdal, au nord de Viborg et de Skindbjerglund dans Amte Aalborg. Le candidat forestier Steen a trouvé, dans la forêt de chênes de Hald, un accroissement annuel moyen de 0m,53 p. 100 pour 10 tiges, dont le diamètre moyen pour une tige dépouillée de son écorce à hauteur d'appui est 16,8 pouces (0m,265) et dont l'âge, d'après l'examen fait sur 6 arbres, atteignait 150 à 200 ans et même plus. Un arbre type (chêne rouvre) examiné avec beaucoup de soin, dont l'âge avait été évalué à 116 ans, donna (en abrégé) les résultats de mesure suivants [1] :

AGE.	HAUTEUR. Pieds.	HAUTEUR. Mètres.	MASSE. Pieds cubiques.	ACCROISSEMENT annuel. P. 100.
6 années.	2,1	(0,631)	0,001	
26 —	16,5	(5,084)	0,213	9.9
46 —	22,3	(6,371)	1,36	7.3
66 —	31,5	(9,478)	3,70	4.7
86 —	41,9	(12,931)	10,76	4.9
106 —	45,1	(14,154)	19,25	2.8
116 —	46,1	(14,468)	24,08	2.2

Cette tige montre que l'accroissement de la hauteur, aussi bien que celui de la masse, même à un âge de 100 ans, est relativement fort ; l'arbre a eu toute sa force d'existence. Les branches dépouillées de leur écorce mesuraient 20,6 pieds cubiques et l'arbre entier avec l'écorce environ 51 pieds cubiques, environ une corde, ce qu'on doit trouver remarquable si l'on considère la nature du sol. Si le résultat n'a pas été encore plus favorable, cela tient sans doute en partie à la marche du développement des arbres dans ces forêts. Le

1. Comme il n'existe dans notre littérature que très peu d'autres mesurages des chênes de ces forêts qui ont malheureusement bientôt perdu leur empreinte d'origine, s'ils ne restent pas conservés comme monuments historiques, nous ajouterons encore deux nombres d'après les mesures faites par Steen : coefficient de forme de la tige (du diamètre à 1/20e de la hauteur), 0,412, de l'arbre entier 0,765 ; le rapport d'assortiment (*Sortirungsverhältniss*) était : 48.9 p. 100 de bois de corde ; 23.9 p. 100 de rondins et 27.2 p. 100 de ramules.

jeune bois n'a pas pu faire des progrès, à l'exception des places où un vieil arbre a été renversé ou abattu à coups de hache ; il y a un long retard dans le développement par suite du manque de lumière et ce n'est qu'après une longue et dure lutte, qu'un seul arbre obtient la domination dans un pareil groupe. Beaucoup de places dans la forêt de chênes de Hald fournissent encore des commentaires riches en enseignement sur les conditions d'existence dans les premiers temps des vieux arbres, en montrant de tels groupes restreints d'arbres plus jeunes. Même, de la marche de l'accroissement chez l'arbre type, il ressort clairement qu'aussi le développement de cet arbre a été le développement ordinaire sous ce rapport ; pendant 20 ans au moins, entre 40 et 60 ans d'âge, il s'est maintenu sous la pression de voisins plus grands.

Ces données ont été citées à l'appui de l'opinion absolue de l'auteur sur la prospérité actuelle de ces forêts. Quoiqu'elles consistent seulement en restes peu considérables, les meilleures parties ne font en aucune façon l'impression d'une végétation dont la force vitale a été brisée ; si elles ont disparu, cela tient à ce qu'elles ont dû entrer en guerre avec des puissances étrangères et non à leur propre dégénération. A peine peut-on émettre un doute sur ce fait que les bonnes parties des forêts de chênes de Hald et de Södal, qui portent encore des arbres biséculaires (le nombre des couches annuelles étant compté sur la tige) et du joli petit *Skindbjerglund*, en ce qui concerne le développement des chênes, nous donnent une image des vieilles forêts de chênes jütlandaises sur le sable d'alluvion, qui, par rapport à l'aspect qu'elles offraient à l'époque la plus puissante, il y a des siècles, ne sont pas en réalité inférieures en plénitude, quoiqu'elles soient naturellement pauvres en arbres très vieux et grands, parce que ceux-ci étaient depuis longtemps tombés [1].

Vaupell cite [2] que de l'essence de chêne rouvre (*Q. sessiliflora*) il ne reste que « quelques arbres » à Hald et que la plus grande partie

1. Un cercueil de chêne, datant de l'âge de bronze, déterré par le Dr H. Petersen, en 1883, dans Kirchspiel Hover, au nord-est de Herning, montre quelles puissantes tiges de chêne a produites ce sol. Ce cercueil consiste en un bloc de chêne droit et symétrique d'environ 69 mètres de long et 1m,18 de diamètre.

2. *De danske Skove*, 1863, p. 35.

Fig. 12. — Partie de la forêt de chênes près Haid (Jütland) ; au premier plan, deux chênes rouvres avec un sous-bois de genévriers.

de la forêt consiste d'ailleurs en chênes pédonculés (*Q. pedunculata*). Il n'est pourtant pas invraisemblable que le chêne rouvre joue, dans les forêts de Hald, un rôle un peu plus grand qu'on devait l'admettre d'après l'appréciation de Vaupell. Nous donnons, dans la figure 12, une image obtenue partiellement par la photographie d'une partie de la forêt de chênes de Hald, avec une représentation photographique fidèle de deux chênes rouvres, dont les branches relativement minces et grêles donnent à cet arbre une forme moins ramassée et moins noueuse que celle du chêne pédonculé, et, par cela, contribuent en même temps à rendre l'aspect de la forêt un peu différent de celui des autres forêts de chênes.

Le sous-bois, dans la forêt de chênes de Hald, consiste, ainsi l'admet également Vaupell, en bosquets de genévriers. Ce sous-bois est passablement clair et incohérent, forme çà et là un fourré fermé plus grand et atteint une hauteur de 41^{m},418, rarement de 55^{m},224; dans les bonnes parties de la forêt, il est fréquemment mélangé à une jolie végétation de fougère-aigle (*Adlerfarn*). Il ne me paraît pas vraisemblable que ce caractère du sous-bois ait été celui d'origine [1]. Dans les autres contrées forestières jütlandaises, particulièrement au voisinage de la maison de chasse, dans le bois de Mylenberg (Rold), se trouvent de grands halliers de hauts arbrisseaux de genévriers impénétrables qui, bien que, de mémoire d'homme, aucun chêne n'ait existé dans ces étendues de forêts, peuvent cependant être le résidu de l'ancien sous-bois existant sous des chênes. Autant que possible, dans la forêt de Hald et à Skindbjerlund (où le sol est en grande partie nu), on enlève du pâturage la moitié du hallier de genévriers ou bien le bétail le détruit. Quoique le sous-bois dans la forêt de Södal consiste principalement en noisetiers de croissance très puissante, cependant, la grande quantité de genévriers, qui se trouvent aussi bien détruits dans les forêts de chênes que dans les landes, montre que cet arbrisseau, dans les grandes étendues de forêts maintenant transformées en surfaces de landes, a eu une grande extension et qu'il a eu, comme aujourd'hui à Hald, la prépondérance dans le sous-bois à la plupart des places. Aussi, dans les

1. Cette opinion a été plus tard entièrement confirmée.

Fig. 13. — Lisière occidentale de la forêt de chênes près Hald (Jütland central) ; les tiges mortes sont entourées aux racines de brout frais, le sol qui les sépare est recouvert d'une végétation de haute bruyère. (D'après une photographie.)

forêts de chênes le genévrier peut jouer un rôle semblable et il y a, par exemple, des parties sableuses de la forêt de Fontainebleau qui rappellent la forêt de chênes de Hald.

La forêt de chênes en décadence. — Lorsque, partant de Smedegaard, qui se trouve à environ 30 mètres au-dessus de la mer à la frontière Nord-Est du Langskov oriental, près Hald dans le Jütland, on s'avance dans la direction Sud-Ouest, on monte sur une ligne d'environ 900 mètres, peu à peu et régulièrement, jusqu'à une hauteur de 60 mètres. Sur la première moitié de cette ligne, qui en même temps est la moitié de la hauteur, la plus grande partie de la forêt est bien portante et l'image que nous avons donnée plus haut des forêts de chênes sur le sol sableux en est la représentation exacte. Mais, sur l'autre moitié du chemin, on remarque une forte décadence de la forêt ; les tiges des arbres sont de plus en plus courtes, leur cime est souvent desséchée et sur le petit plateau à une hauteur d'environ 60 mètres, aussi bien que sur les pentes douces du talus, la forêt est ouverte vers le N.-O., O. et S.-O., le peuplement est imparfait et les arbres sont en piteux état et rabougris.

Le sous-bois est formé de futaies imparfaites, quoiqu'on ait trouvé encore quelques bons arbrisseaux de genévriers. Les conditions d'existence extrêmement modestes, en relation avec celles du sol, une puissante et jolie végétation, qui prédominait sur la partie basse, ne se trouvent pas sur la partie plus haute ; la forêt est évidemment fortement tombée en décadence ; ce qui est dû principalement, comme le montre clairement une observation poursuivie, à l'action du rude vent d'Ouest.

Si l'on pousse plus avant dans cette direction, on arrive alors, environ 400 mètres plus loin, à la limite sud-est de la forêt qui se trouve à dix mètres plus bas que le côté du talus. Là, la destruction est complète : les arbres sont encore plus courts et plus noueux, les couronnes fréquemment tout à fait mortes, et les branches fraîches se trouvent vers l'Ouest. Enfin, le bord extérieur ouvert n'est formé que d'arbres morts, comme on le voit dans la figure 13. Pourtant, ces chênes ne sont pas complètement morts ; enfin, les tiges du côté extérieur ouvert de la forêt, mortes et en partie sans écorce, sont presque toutes entourées à leur pied d'un épais bosquet, formé par

un brout de morceaux de racines encore frais (fig. 13). Plus loin, encore vers l'Ouest, un pareil bosquet n'a pu rester que s'il n'y a pas eu de défrichement, les tiges pourries sont renversées ; la forêt a pris ici la forme si particulière aux landes jütlandaises qui est, d'après les communications d'un grand nombre d'explorateurs de landes, connue sous le nom de *Krattbusch,* en danois : *Purkrat.* Les recherches de Vaupell et d'autres ont mis hors de doute que ces broussailles (*Gestrüpp*) qui gisent éparpillées dans la plus grande partie des régions de landes du Jütland, mais qui pourtant se trouvent principalement sur les buttes, et qui recouvrent encore une surface de 2,800 hectares [1] sur des places conservées au mieux et bien fermées, sont le résidu des anciennes forêts de chênes. Le Vester-Langskov, près Hald, nous montre dans les traits principaux l'histoire de sa formation, et les autres forêts de l'Est du Jütland que j'ai pu examiner, représentent à nouveau la partie essentielle de la même série de périodes. Il est reconnu que la végétation rabougrie des chênes des landes a un développement très différent de forêts considérables et élevées en futaies pleines, de rejets de 20 à 30 pieds ($6^m,277$ à $9^m,655$) et de petits halliers de 1 à 2 pieds ($0^m,314$ à $0^m,628$) de hauteur, disséminés et même presque isolés dans la bruyère.

Après ce court examen des traits principaux du caractère de nos forêts de chênes naturelles qui, en grande partie, n'est qu'une comparaison avec les conditions déjà connues, nous passons à l'exposition du sujet particulier de nos recherches : le sol des forêts de chênes.

Le sol des forêts de chênes.

Le terreau de la forêt de chênes sur le sol argileux. — Dans nos forêts de chênes, sur le sol argileux, aussi loin que s'étendent mes connaissances, on trouve toujours du bon terreau. Si le sous-bois existe en futaies pleines, la couche graveleuse, poreuse, gris brun, qui se trouve immédiatement au-dessous de la couverture décomposée et qui passe imperceptiblement à la couche inférieure de couleur claire, peut atteindre une puissance considérable. Le sol possède

1. *Tidssk. f. Skovbr.*, t. V, p. 59.

à de telles places une fertilité supérieure ; s'il est fortement ombragé, il est alors ou presque nu, ou bien recouvert d'une végétation éparse d'herbes et de beaucoup de végétaux fleurissants, qui, sur un sol frais et puissant, sont l'ornement de ces forêts. Tout forestier admettra qu'aucun emplacement n'est aussi favorable pour la régénération, qu'une pareille forêt de chênes, quand le sous-bois est coupé ou éclairci. Si le sous-bois manque ou est trop clairsemé pour couvrir le sol, une végétation herbacée s'installe, offrant toutefois des conditions beaucoup moins favorables pour la création d'un sous-bois (*Unterpflanzung*), mais celle-ci a rarement à lutter avec des difficultés. La couche de terre superficielle renferme toujours du terreau, quoique aussi la quantité de celui-ci puisse fortement diminuer. Mais je n'ai jamais trouvé dans les forêts de chênes une indication de formation de tourbe sur de meilleur sol, tandis que dans les forêts de hêtres il n'existe probablement pas une partie du pays tout à fait dépourvue de formation partielle de tourbe.

Sous le terreau l'empreinte du sol est tout à fait la même que sous le bon terreau des forêts de hêtres. D'abord, vient la couche supérieure du sous-sol parfaitement meuble, dont la couleur varie du jaunâtre ou jaune-brun au brun ; puis, au-dessus, où il se transforme graduellement et entièrement en terreau graveleux, il est un peu plus sombre. La couleur est homogène et un profil de la terre ne montre dans cette couche aucune autre nuance de coloration qu'un ton brunâtre s'affaiblissant plus ou moins vite de la partie superficielle jusqu'au sous-sol.

La couleur de la couche supérieure du sous-sol varie du gris au gris-blanc ; cette couche est irrégulièrement colorée et souvent si dure qu'elle se laisse difficilement creuser ; malgré cela, elle se laisse parfois, surtout quand elle est humide, briser au hoyau. Sous cette couche, sur laquelle nous reviendrons plus tard, qui paraît faire défaut plus fréquemment sur les sols argileux très durs, se trouve le sous-sol irrégulièrement coloré de notre argile d'alluvion beaucoup plus facile à travailler que la couche blanchâtre sus-jacente, mais qui pourtant a tout à fait l'ameublissement et l'uniformité de la couche supérieure du sous-sol.

Le terreau de la forêt de chênes sur les sols sableux. — On osait

affirmer que le terreau est la forme des dépôts humiques qui se rencontre le plus fréquemment dans les forêts de chênes sur le sable jütlandais. Le terreau du sol de ces forêts se reconnaît déjà à la végétation qui le recouvre et qui, sans former une couverture végétale cohérente avec le réseau de racines dans la croûte terrestre est extraordinairement riche, surtout en espèces, et forme, par sa magnificence de couleurs, au commencement de l'été, un contraste frappant avec la végétation, peu abondante et pauvre en espèces, du sol recouvert de tourbe.

Caractéristique pour le terreau de la forêt de chênes sur le sol sableux, est une des plantes qui distinguent aussi le terreau dans les forêts de hêtres, c'est-à-dire l'anémone. Mais, en dehors de celle-ci, se trouvent : le trèfle (*Trifolium medium*), la violette (*Viola canina*), la vesce (*Vicia Cracca*), le pois plat (*Lathyrus macrorrhysus*), l'herbe de Saint-Jean (*Hypericum perforatum* et *quadrangulum*), le caille-lait (*Galium saxatile*), la campanule (*Campanula rotundifolia* et *persicaefolia*), le mors du diable (*Succisa pratensis*), différentes espèces de graminées, comme l'herbe de cheval (*Holcus mollis*), enfin le *Caprifolium* et différents autres. Les plantes suivantes sont moins caractéristiques que les précédentes pour le terreau bien défini, ou bien se trouvent en même temps sur le sol de tourbe : le mélampyre des champs (*Melampyrum pratense*), la tormentille (*Potentilla tormentilla*), et l'*Aira flexuosa*, qui pourtant fait complètement défaut à beaucoup de places sur le terreau ou bien n'existe que pauvrement.

Nos essences forestières ordinaires croissent, suivant les circonstances, bien et même très bien dans le sable-terreau (*Sandmull*) qui se trouve dans ces forêts de chênes. Il y a de nombreux exemples de la réussite complète des épicéas dans ce pays, tandis que seulement quelques pas plus loin, sur la tourbe de lande, en dehors des limites du hallier ou du sous-bois, par exemple dans Skarrild Krat, dans Viborg Krat et à beaucoup d'autres endroits, ils languissent pendant des années et sont inférieurs en croissance. Mais le hêtre progresse aussi fort bien. Ainsi, on trouve dans les forêts de chênes de Hald, des hêtres, en partie plantés, en partie semés naturellement, d'âge très différent, qui tous, au moins dans les trente ou quarante pre-

mières années, sont en très bon état de croissance. Dans Södal Vesterskov se trouvent de très jolies plantations de hêtres, dont, pour une partie, l'âge varie entre 5 et 12 ans, et, pour l'autre, atteint 40 ans, qui, au point de vue du développement et de la forme ne restent pas en arrière des hêtres qui viennent sur le sol moyen des côtes de l'Est. Enfin, dans Skindbjerglund, existe une petite plantation de hêtres, âgés de 10 à 15 ans, en parfait état, sur le sable de lande ordinaire qui, s'il contient un excédent de terreau, peut produire une forêt de hêtres réellement jeune. On a déjà dit que le noisetier, qui pourtant doit être considéré comme très exigeant, vient très bien ici, et, à la vérité, sur l'espèce la plus pauvre de terreau sableux (*Sandmull*) (parties dans Södal Vesterskov), dont la figure 5 du tableau III donne une image.

Quoiqu'il existe à peine une différence essentielle entre les formes du terreau dans ces forêts, je veux cependant, pour donner un aperçu complet, décrire trois espèces de sols qui présentent certaines divergences. Tous ces sols ont comme caractère commun une superficie parfaitement poreuse, de structure graveleuse, que recouvrent des restes de déchets (*Abfallreste*) morts de la forêt et portent une végétation de plantes caractéristiques du bon terreau.

La forme la plus normale du sol dans ces forêts de chênes, qui concorde le mieux avec le sol de terreau sur l'argile d'alluvion, est représentée sur le tableau III, figure 1. Sous la superficie à petits grains, gris-clair par le temps sec, gris sombre par le temps humide, se trouve, à une profondeur de 5-7-10-12 pouces ($0^m,130$-$0^m,183$-$0^m,261$-$0^m,287$), la superficie du sous-sol plus poreuse, couleur de terreau (fig. 1, *a*), qui se transforme insensiblement, au fur et à mesure que la profondeur augmente, en un sous-sol jaune d'ocre. La couleur du terreau s'affaiblit toujours quand la profondeur augmente ; mais les limites entre la couche supérieure du sous-sol (terreau) et le sous-sol se laissent pourtant relativement bien déterminer. J'ai trouvé cette forme de terreau aux meilleures places dans les forêts et dans les boqueteaux, comme dans la forêt de chênes de Hald, dans Skindbjerglund, dans Rindsholm Krat et sous les touffes de chênes à Skarrild Krat. Quoique la limite de la partie supérieure du sous-sol ne se trouve pas partout à la même profon-

deur, elle est cependant très peu différente dans le même emplacement, quand la conformation du terrain n'est pas changeante.

La forme la plus proche du sol (Tableau III, fig. 2) peut à peine se distinguer de la précédente par la considération de la superficie ; seulement la couche supérieure du sous-sol qui a la nature du terreau, paraît perdre plus rapidement sa couleur de terreau et est en tout un peu plus claire. Mais, immédiatement au-dessous, le sous-sol se montre coloré faiblement en brun, dans une zone de 5 à 8 pouces (0^m,1307 à 0^m,209) d'épaisseur. Parfois, la différence de coloration entre cette zone et la couche plus profonde de sable jaune est si faible, qu'on ne la remarquerait pas du tout, si on ne l'avait vue s'accuser plus fortement à d'autres places. On démontrera plus tard que la coloration de cette zone est due, sans aucun doute, aux acides humiques ; cette zone est la première trace faible d'une formation de terre rouge ou d'*Ortstein*. Le profil du sol (*Bodenprofil*) de boqueteaux, recouvert de terreau, correspond très souvent à celui représenté par la figure 2 ; j'ai trouvé, par exemple, la couche plus brunâtre à une profondeur comprise entre 10 et 18 pouces (0^m,261 et 0^m,471) dans Viborg Krat, à une profondeur comprise entre 7 et 13 pouces (0^m,183 et 0^m,340) sous les touffes de chênes dans Findskov Krat et à une profondeur comprise entre 5 et 10 pouces (0^m,1307 à 0^m,261) sous les touffes de chênes dans Skarrild Krat.

Il est arrivé assez souvent qu'en donnant un coup de bêche dans le terreau de forêt poreux, dont la superficie et la végétation n'offraient en aucune façon des rapports différents, on est surpris de voir apparaître un sable presque blanc comme la neige, surpassant à peine en blancheur le sable plombifère (Tableau III, fig. 5). Des recherches poursuivies montrent bientôt qu'il y a là encore une forme de terreau de hallier (*Gebüschmull*), seulement avec cette différence qu'ici la partie supérieure du sous-sol est encore plus pauvre en humus que la même partie du sol représentée par la figure 2. Il est presque entièrement dépourvu de combinaisons humiques, et, comme le sable plombifère normal, il a perdu la plus grande partie de sa teneur en fer. Toutes les formes de transition entre les variantes figures 1, 2 et 5, qui doivent être conçues comme des différents degrés de développement du même état dans

le sol, se laissent découvrir à une courte distance l'une de l'autre. Mais, là où la forme de la figure 5 existe, la couche supérieure du sous-sol plus sombre, colorée par des acides humiques, apparaît plus fortement que dans la forme représentée par la figure 2, *b*. Pourtant, il n'est pas encore question ici d'une formation particulière de terre rouge ou d'*Ortstein* ; la couche a tout à fait la même consistance que le reste du sous-sol sableux, jaune d'ocre. J'ai trouvé cette couche supérieure tout à fait décolorée en plusieurs endroits dans la forêt de chênes de Hald, dans la forêt de Södal et dans le Skindbjerglund, sur des parties plus ou moins grandes, dans les formations de terre décrites plus haut.

Formations de tourbe dans les forêts de chênes. — Quoique, aussi loin que se sont étendues mes recherches, le terreau soit la forme la plus commune des dépôts humiques dans les forêts de chênes et sous les *Krattbüsche* isolés sur le sable du Jütland Est, il existe pourtant aussi çà et là des formations de tourbe, même d'une puissance très considérable.

J'ai trouvé ces formations, avec leur expression la plus forte, aussi bien comme développement que comme extension, dans le Langskov oriental, près Hald. Si l'on poursuit son chemin sur la ligne dont on a parlé de Smedegaard vers le Sud-Ouest, on rencontre bientôt le commencement d'une faible formation de tourbe, avec une végétation d'airelle myrtille et de Trientalis, parmi lesquels se trouvent aussi le *Majanthemum,* et çà et là en même temps le *Melampyrum pratense* et la *Potentilla Tormentilla.* Mais, plus on monte et plus on avance vers le Sud-Ouest, la tourbe devient toujours plus épaisse et sur le plateau et le talus occidental se trouvent des couches de tourbe d'une puissance de 5 pouces ($0^m,1307$), et il faut descendre à une profondeur de 20 à 24 pouces ($0^m,523$ à $0^m,6276$), avant qu'on pénètre à travers l'*Ortstein,* épais et dur comme la pierre.

Outre la forêt de chênes de Hald, j'ai trouvé des formations de tourbe dans le boqueteau de Funder, qui recouvre la pente sud escarpée des hauteurs considérables sur lesquelles est perché le village de Funder avec ses terres fertiles. La pente sud du côté de la vallée du ruisseau de Funder est formée de sable de lande typique et sur le sol forestier, sur lequel se trouvent ces talus, extraordinairement

secs et chauds, existe un commencement de formation de tourbe ; ce qui a produit pourtant des couches trop minces et peu homogènes ; la forme d'humus a un caractère tout à fait semblable par places dans les autres boqueteaux et sous des parties ouvertes, en voie de rétrogradation, où la croissance est rabougrie.

Une recherche des éléments constitutifs de la couche de tourbe de la forêt de chênes présente des difficultés beaucoup plus grandes que la détermination des mêmes conditions relatives pour la forêt de hêtres et la lande. Quand on pénètre en creusant dans la masse noir brun, épaisse de 5 pouces ($0^m,1307$), qui recouvre le sol sur le plateau dont on a parlé dans la forêt de chênes de Hald, la masse grasse, sans structure et épaisse, apparaît : seules, quelques racines plus grandes opposent une résistance à la bêche. Par un examen plus attentif fait à la loupe, on constate une divergence évidente entre les formations correspondant aux forêts de chênes et à la lande. D'abord, la couche n'a pas du tout la structure lamelleuse de la tourbe de hêtres ; de plus, on ne trouve ici qu'un petit nombre de restes bien conservés des déchets de la forêt, qui existent en si grand nombre dans la couche de tourbe de la forêt de hêtres. La masse s'approche le plus de la tourbe de marais (*Moortorf*) amorphe, tandis que la structure de la tourbe de hêtres rappelle celle des couches superficielles de la tourbe de nos marais, dans laquelle des couches de Sphagnum et d'Hypnum bien conservées, sont mélangées avec les feuilles et les tiges des arbres et des plantes frutescentes. Enfin, l'épais réseau de racines de la tourbe de hêtres et de landes, qui ordinairement traverse complètement toute la masse de ces formes d'humus même sur chaque petite surface, fait aussi complètement défaut ici. Parmi les plantes vivaces, phanérogames, dont les racines forment un tissu dans la tourbe de hêtres, il m'est arrivé d'indiquer les chênes, le genévrier et l'airelle myrtille, qui, tous, peuvent former par places des masses très épaisses. Ces masses sont tissées par les mycéliums connus, brun noir, qui pour nous, caractérisent ici la tourbe de hêtres et qui aussi se trouvent en une masse extraordinaire dans la tourbe de chênes, en beaucoup d'endroits. Mais, quoiqu'un grand nombre de racines mortes, principalement celles de l'arbrisseau d'airelle myrtille et du chêne, regorgent d'une crois-

sance chevelue épaisse, confuse, hérissée et noire de ces mycéliums, ils ne forment pourtant pas partout une partie aussi essentielle de toute la couche que dans le terreau de hêtres. Mais d'autres tissus de champignons clairs comme de l'eau et facilement éphémères existent en de plus grandes masses et forment souvent des coussins bien conformés et étonnamment épais. Mais la partie tout à fait prépondérante de la tourbe de chênes consiste, ainsi que le montre l'observation microscopique, en le plus fin détritus organique, généralement formé de grains plus ou moins grands et de gravier, de telle façon qu'on ne peut mettre en doute que ce sont des excréments animaux. Entre ceux-ci, se trouvent déposés le peu de restes végétaux et animaux qui montrent encore une structure nette. A la vérité, les excréments ne manquent pas dans les autres formes de tourbe, mais ils jouent ici, dans toute la masse, un rôle infiniment plus secondaire.

Bien qu'ainsi le terreau de chêne examiné atteint la même puissance et a la même influence sur le sol que la tourbe de hêtres et de landes, il reçoit l'empreinte d'un caractère particulier par la vie organique de l'emplacement. La forêt de chênes n'étant pas, à ce qu'il semble, comme la forêt de hêtres, en état de concentrer le tissu de racines dans la masse de déchets déposée sur la superficie, il en résulte que le facteur qui sert de ciment fait défaut, et c'est pourquoi la couche se compose principalement de déchets. Le caractère d'excréments animaux que possèdent ceux-ci au plus haut degré peut difficilement s'expliquer par l'activité des animaux même vivant dans la couche ; enfin, la vie animale ne revêt ici seulement qu'un petit nombre de plus grandes formes et est représentée principalement par quelques larves d'élatères vraisemblablement radicivores, à l'exception d'une petite espèce de hanneton et quelques myriapodes. Cela me conduit à penser que ces couches doivent être envisagées comme des tas d'excréments de toute la vie animale et riche du boqueteau qui se trouve sur la terre et que la feuille qui tombe à l'automne à la superficie de la terre doit être consommée ; par suite, les évacuations sont liées à une masse en fermentation de différentes espèces de mycélium.

Quoique le terreau de chênes examiné paraisse, sous beaucoup de rapports, semblable au terreau d'insectes des forêts de hêtres décrit,

la nature de la masse est pourtant tout autre et n'a qu'une faible analogie avec les couches poreuses d'excréments d'insectes, semblable à de la sciure de bois, qui se présentent si souvent dans les forêts de hêtres et sont sans doute principalement le résultat de la vie même des insectes fourmillant dans la couverture.

Le sol des landes.

Le sol de landes recouvert de tourbe. — Dans ce qui précède, on a décrit les phénomènes déjà connus de la dégénérescence des forêts de chênes et de leur transformation en taillis de chênes à croissance rabougrie sur la lande ; au contraire, les transformations importantes du sol, qui prenaient une part à ce procédé de dégénérescence, attribuée par d'autres à l'influence du vent d'Ouest, paraissent avoir échappé à l'attention des premiers explorateurs.

Le sol de landes typique, tel qu'il existe sur la plus grande partie des étendues de landes du Jütland Est, qui couvrent tout aussi bien les parties élevées que les vallées, a été si souvent décrit, que nous voulons seulement résumer ici les notions acquises sur ses propriétés, déjà publiées d'ailleurs dans la première partie de cet ouvrage.

Le sol est recouvert d'une couche de tourbe ferme et compacte, consistant principalement en éléments organisés, résidus de la végétation de la lande, tissés et liés en un mélange épais de racines de bruyères, de mycélium, par places le thallus mousseux et le tissu de racines d'autres plantes, qui peuvent disparaître entre la bruyère. Les couches les plus basses de la croûte de la lande renferment ordinairement une quantité d'éléments minéraux du sous-sol qui augmente avec l'accroissement de la profondeur, particulièrement le sable, et prennent ici plutôt le caractère d'un sol sableux, traversé par un tissu de restes de plantes et mélangé fortement avec les restes de la végétation, que celui d'une formation réelle de tourbe sur le terrain d'origine ; pourtant, par le desséchement, cette partie de la superficie devient aussi ferme, souvent presque dure comme la pierre et ne se laisse pas distinguer nettement de la tourbe particulière gisant à la partie supérieure. Sous la croûte de la lande, se trouve la couche de sable plombifère, sable blanc, décoloré qui, suivant le

degré du mélange, présente toutes les nuances du sable blanc de neige jusqu'à celle d'un mélange gris-noir couleur terreau. La limite entre le sable plombifère et la croûte de la lande est d'autant plus tranchée que le développement de la couche la plus inférieure décrite plus haut est plus faible ; elle est parfois tout à fait confuse, souvent fortement accusée. Sous le sable plombifère se trouve une couche colorée par des acides humiques et des combinaisons humiques, qui s'appelle *Ortstein* ou terre rouge (*Rotherde*). Les éléments minéraux du sol sont ici enveloppés d'un revêtement de nature humique : la couche est ordinairement très épaisse, si bien qu'elle laisse passer l'eau avec une lenteur extraordinaire. La limite de la terre rouge n'est jamais tranchée vers le bas ; le passage au sable couleur d'ocre du sous-sol est confus et le plus souvent déchiqueté de façon très irrégulière, si bien que la couche, dont la couleur varie du sombre au noir-brun a des prolongements dans le sous-sol sous forme de cônes et de languettes. Ce passage offre d'ailleurs une richesse de formes dont les écarts réciproques doivent être attribués aux différences dans le mouvement de l'eau. Si nous consultons la littérature, nous trouvons chez Emeis de très beaux dessins de profils de lande, dans lesquels ces particularités sont soumises à l'opinion. En haut, vers le sable plombifère, la délimitation de la terre rouge est parfaitement tranchée, mais elle est souvent effacée par l'amoncellement de matières humiques, dans la couche la plus inférieure du sable plombifère, comme cela est représenté sur le tableau III par la figure 4.

L'uniformité prédominante, chez ces formations, de leur puissance et de leur autre caractère, sur des étendues importantes, est très frappante. Sur les parties élevées sèches, où le sol n'est pas marécageux, les couches sont parfois si homogènes, que, sur des surfaces considérables leur épaisseur offre seulement une différence d'un petit nombre de pouces. La terre rouge présente pourtant la même homogénéité, et à certaines places, notamment, là où les conditions du terrain rendent le sol frais ou entièrement humide, il existe aussi des différences très considérables dans la puissance de la tourbe et du sable plombifère. Mais, pourtant, en général l'uniformité est un trait caractéristique de la nature de la terre, partout dans le terrain conquis par la formation de tourbe dans le Jütland.

Les sols de landes en forme de terreau (mullartige Haideboden). — Il semble qu'on n'a pas appelé suffisamment l'attention sur ce fait que la bruyère brune, qui tapisse d'une couverture uniforme les hauteurs et les vallées dans les régions de landes, n'a pas caché sous elle des différences dans le sol, telles qu'elles méritent, aussi bien au point de vue de l'histoire naturelle qu'à celui de l'économie, la plus grande attention. J'ai déjà mentionné autrefois que j'avais trouvé dans le Nord de Seeland de plus grandes parties du sol recouvert par la bruyère, dans lesquelles n'existait pas trace de formation de sable plombifère et de terre rouge. Le sol était ici le terreau ordinaire avec tous ses indices particuliers des couches sous-jacentes. Mais aussi dans les contrées de landes proprement dites, existent des étendues qui ont tout à fait le même caractère. J'ai trouvé de telles parties dans Amte-Aalborg, entre le Thisted Nordskov et le Astrup Nordskov (Gut Villestrup) sur un terrain, qui avait tout à fait le caractère de la lande; plus loin, sur les landes entre la forêt de chênes de Hald et le Findskov-Krat dans Amte Viborg et dans la plantation de Langebjerg (district forestier d'État de Palsgaard dans Amte-Aarhuus). Tous ces emplacements ont partout les traits communs suivants : le sol n'est pas le sol sableux le plus maigre, bien qu'il ne soit sous aucun rapport essentiellement différent du sol sous-jacent des étendues de landes typiques : les conditions du terrain sont telles que l'emplacement n'appartient pas aux parties de landes les plus sèches et discontinues; mais en général, c'est une formation normale de tourbe qu'on trouve pourtant à de telles places dans les régions de l'ouest du Jütland. Enfin la végétation de bruyères a régné difficilement depuis très longtemps sur les étendues en question. Ainsi, la lande dont on a parlé près Villestrup, entre deux forêts, dont celle qui est à l'ouest a des formations de tourbe de bruyère prononcées à ses bords Sud-Ouest, sur le terrain coupé. Les parties de terreau dans la lande entre la forêt de chênes de Hald et le Findskov Krat ont été, d'après les données historiques sur lesquelles nous reviendrons plus tard, peut-être encore au commencement du siècle précédent, couvertes de forêts, mais sont maintenant entourées de tous les côtés de tourbe de bruyère normale. Enfin, les parties en forme de terreau se trou-

vent dans la plantation de Langebjerg, également entourées de tous les côtés par la formation de tourbe ordinaire ; de même dans une contrée qui a des restes importants de forêt et de *Krattgebusch*. Dans les landes occidentales, qui, vraisemblablement, sont d'origine plus ancienne, je n'ai jusqu'à présent trouvé dans le sol aucun vestige analogue des différentes conditions de végétation anciennes et de leur influence sur la superficie du sol.

Il a été établi depuis peu que les conditions de développement des épicéas, plantés dans ces régions, sont très différentes, suivant que la plantation a été faite dans le sol en forme de terreau de la forêt de chênes ou dans la tourbe de bruyère. Là, ils se développent rapidement et puissamment; ici, ils ont un état très dur, meurent souvent ou bien restent de longs espaces de temps, souvent dix années, ralentis dans leur végétation. Cela a été une circonstance très heureuse, que les essais de plantation aient fourni la démonstration de ce fait que le sol dans les landes se comporte, au point de vue des conditions de végétation de l'épicéa, tout à fait de la même façon que le sol sous les chênes. Des plantations considérables, entreprises sur la lande, près de Villestrup, étaient dans un état extraordinairement prospère, malgré un travail tout à fait insuffisant du sol[1]; tandis que tout planteur de landes expérimenté eût considéré comme impossible de faire progresser de cette façon des épicéas sur la lande recouverte de tourbe. Même dans la plantation de Langebjerg, l'état des épicéas est extraordinairement bon : mais comme le travail du sol était beaucoup plus complet, on ne sait pas exactement la part qu'on doit attribuer dans le succès à l'état du sol produit par l'art.

Le passage du sol de terreau au sol de tourbe dans les landes. — C'est un phénomène au plus haut point surprenant, que les sols de terreau et de tourbe peuvent se transformer si subitement dans les landes jütlandaises et qu'une différence de quelques toises suffit pour conduire l'observateur d'un sol, qui sous une couverture épaisse et ferme de tourbe, a une couche de sable plombifère de 4 à 6 pouces

1. C'étaient des replants d'épicéas âgés de deux ans, provenant d'une pépinière, qui avaient été placés dans un sillon tracé avec la charrue.

($0^m,1046$ à $0^m,1569$) reposant sur des formations d'*Ortstein*, et de terre rouge puissantes et dures comme la pierre, à un sol en forme de terreau, dont la couche superficielle est poreuse et a la couleur du terreau, et qui passe insensiblement à un sous-sol sableux, couleur d'ocre.

Cet état apparaît de la façon la plus évidente là où les parties en forme de terreau consistent en petites oasis de terreau de 10 à 20 ellenquadrat (environ $13^{mc},806$ à $26^{mc},712$) sous des taillis de chênes isolés et bas, comme le représente la figure 14. Cet état n'est pas du tout une exception, et l'auteur, après que son attention eut été appelée une première fois sur ce fait, a retrouvé ce même phénomène à beaucoup d'endroits. Un examen exact des conditions sous un *Krattbusch* de chênes isolé dans la lande près Skarrild pouvait servir d'exemple.

Le *Skarrild Krat* dans Amte-Ringkjöbing se trouve sur la pente sud-est de la partie montagneuse du grand Skovbjerg dans la région du Jütland complètement dépourvue de bois. Il consiste principalement en petits chênes bas et isolés dans la bruyère et occupe le talus Sud-Est aussi bien que le sommet de la grande montagne qui s'élève à une hauteur considérable au-dessus de la vallée de Skjernaa, qui forme ici la limite entre la partie montagneuse et les grandes plaines de Sönder-Omme. Le sol de cet emplacement très sec est le sol ordinaire, un peu de sable pierreux avec une quantité d'alumine tout à fait évanescente. Déjà en 1867, on avait entrepris une plantation; mais les plantages qui avaient pris place dans un sol portant une végétation de bruyère et recouvert de tourbe de lande, n'ont pas eu un accroissement convenable ; 12 à 13 années après, il y a ici, malgré de nombreuses améliorations, beaucoup de plantes mortes et rarement celles qui sont encore vivantes se distinguent au-dessus de la bruyère. Seulement, çà et là, quand une plante a été apportée à la lisière d'un *Krattbusch* ou à une place où le hallier a été enlevé, pour le remplacer par une plantation d'épicéas, les jeunes arbres se sont développés fortement en hauteur et atteignent parfois une hauteur de 3 à 4 ellen ($51^m,418$ à $55^m,224$), comme notamment dans le voisinage de la pépinière.

En examinant de plus près le taillis de chênes et le sol sur

lequel il se tient, l'observateur a devant les yeux l'image que représente la figure 14. Sous le dais presque orbiculaire, haut de 3 pieds et demi (1^m,098) et large de 14 pieds (4^m,393) du taillis de chênes, noueux et tordus, le sol est recouvert d'herbes et de plantes correspondant au point essentiel d'après la végétation sur le terreau dans les forêts de chênes. Il existait ici, outre les herbes, la *Campanula (rotundifolia?)*, *Achillea millefolium*, *Melampyrum pratense* et d'autres; à la lisière du taillis, aussi bien la bruyère que des busseroles communes et des arbrisseaux de camarines noires paraissaient pénétrer sous le dais; mais là où celui-ci descendait serré sur la terre, les plantes de terreau s'étendaient jusqu'au bord du taillis. Le sol était tout en haut recouvert d'une couche imparfaite et meuble de morceaux de feuilles et d'autres déchets de la végétation: au-dessous, suivait un terreau gris noir meuble, dont la partie supérieure était formée presque complètement d'excréments de vers de terre homogènes, d'une grosseur de 3 à 4 millimètres, mélangés avec du sable et se transformait peu à peu en une superficie du sous-sol meuble, de couleur terreau, qui se perdait insensiblement à une profondeur d'un demi-pied (0^m,1569) en sable jaune du sous-sol. Autour du taillis de chênes, commençait la formation de tourbe de lande et à une distance de quelques ellen [1] le sol de lande était parfaitement normal.

On retrouve les conditions décrites ici à beaucoup d'autres endroits aussi bien dans Skarrild Krat que dans d'autres localités du même genre. Ainsi, le sol sableux de Skindbjerglund avec sa bonne végétation forestière, est limité vers l'Ouest par des formations de tourbe et d'*Ortstein*, que j'ai trouvées surtout sur les massifs élevés et secs du Jütland et qui, à une distance de quelques toises, montrent cette grande différence dans l'état du sol. Le sol, sous et entre les taillis de chênes isolés dans Findskov Krat, se comporte en général tout à fait de la même façon que dans Skarrild Krat. Dans Tyskov Krat, à l'angle sud-ouest de l'Amte-Aarhuus, nous trouvons tout à fait les mêmes conditions, mais l'emplacement a comme particularité d'appartenir aux grandes surfaces de landes (*Flächen*) [plaines], dont le sol

1. Ellen = 23^{inches},4 = 13^m,806.

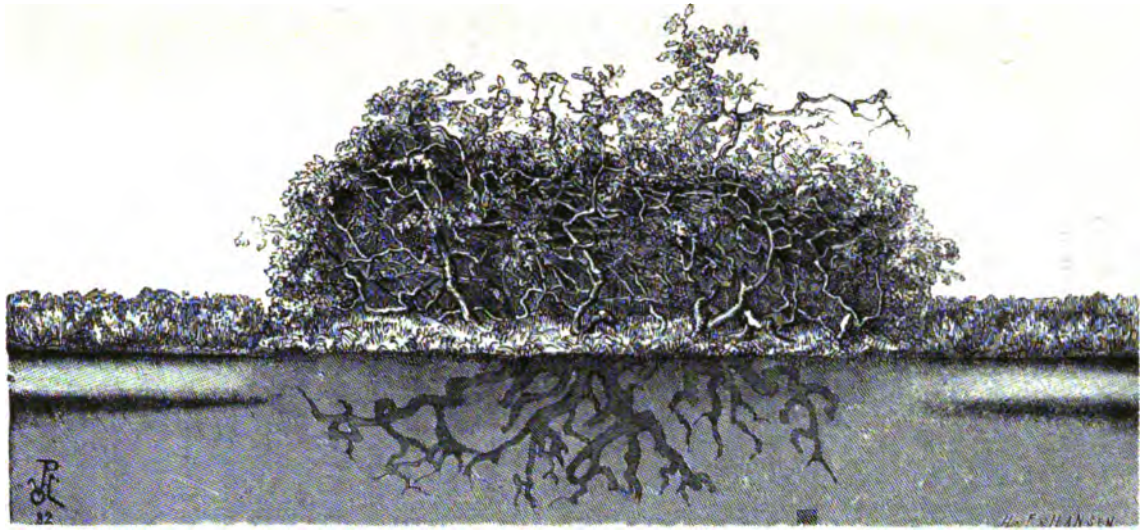


Fig. 14. — Coupe d'un *Krattbusch* de chênes et du sol qui le porte. Sous le dais de feuillage du chêne, le terreau grisâtre de la superficie passe peu à peu au sable jaune du sous-sol ; extérieurement au bosquet, là où le sol porte une végétation de bruyères, la tourbe de lande, le sable plombifère et l'*Orstein* se sont formés. Les racines de chênes sont représentées par une esquisse.

forme, comme on sait, la partie la plus maigre des landes jütlandaises. La configuration du terrain ne permet pas, à la vérité, d'assigner, avec une entière certitude, une place à cet emplacement parmi les plaines; seulement, d'après la nature du sol on ne peut guère mettre en doute qu'il consiste, aussi loin que mes recherches ont pu s'étendre, en un sable extraordinairement maigre, paraissant tout à fait exempt de pierres et d'alumine. Le boqueteau même, comme celui de Skarrild, est formé de broussailles détruites qui gisent à la surface, qui cependant parfois s'élèvent à une hauteur de 5 à 6 ellen (69^{m},03 à 82^{m},836) et se réunissent en des groupes plus grands et homogènes. Dessous, se trouve du terreau parfait de nature définie; au milieu, une formation de lande à empreinte nette et le terrain se perd, sans plus grand changement dans le rapport de hauteur de la superficie, dans la grande vallée désolée de Brande-Paarapur, avec sa formation puissante de tourbe de lande et d'*Ortstein*, qui s'étend immédiatement jusqu'aux limites du boqueteau.

Celui qui, ainsi que l'auteur, a pris pour point de départ de ses recherches sur ces conditions, les formations de tourbe dans les forêts de hêtres des meilleures régions, doit être très frappé de ce phénomène, que la formation de sable plombifère, à une distance de quelques ellen de la limite du bosquet, a la même puissance qu'à de plus grandes distances de celui-ci, bien que, manifestement, elle soit plus nettement prononcée au voisinage immédiat du bosquet, de même que la formation de terre rouge au bord du bosquet diminue en puissance et en clarté, au fur et à mesure qu'on approche de l'ombrelle formée par les branches, et se perd dans le terreau, sans aucune délimitation déterminée. Il y a évidemment une loi qui régit la puissance de la formation de sable plombifère dans ces contrées sur la lande maigre. Enfin, ainsi qu'on l'a déjà mentionné, l'éloignement de la terre rouge de la superficie est très uniforme et je n'ai jamais trouvé des commencements de formations de terre rouge et de sable plombifère pareilles à celles des forêts de hêtres sur de meilleur sol, où une fine bande de sable plombifère ayant à peine l'épaisseur d'un pouce forme, immédiatement au-dessus d'une bande de terre rouge aussi fine, le commencement du développement de couches très puissantes de sable plombifère et d'*Ortstein;* ici, au

contraire, la puissance du sable plombifère est déterminée, pour ainsi dire, par anticipation.

Quand on enlève à l'intérieur un long profil de sol à travers un pareil bosquet et dans les sols de landes proprement dits (voir fig. 14), on s'aperçoit que la place sur laquelle la terre rouge s'est formée, est la superficie du sous-sol. La couche d'*Ortstein,* souvent très dure, noir-brun et épaisse sous la bruyère, se continue immédiatement dans le développement de terre rouge plus faible dans le voisinage tout proche du bosquet et se perd ensuite peu à peu dans la superficie de cette partie du sol, qui n'a plus la couleur du terreau. Nous avons vu auparavant que, de même sous le terreau, juste à la même place, il peut exister une bande sombre colorée, et là où une pareille bande apparaît sous le bosquet, le point de jonction entre cette formation et la terre rouge et l'*Ortstein* n'est pas reconnaissable. A cause de la régularité dans ces conditions et par suite des nombreuses observations que j'ai eu l'occasion de faire, j'ai dû exprimer avec certitude, que la terre rouge dans les contrées de landes jütlandaises se développe dans la partie supérieure du sous-sol et que la puissance de la couche sus-jacente, en plus grande partie formée de sable plombifère, correspond exactement à la profondeur du sous-sol analogue au terreau sur le même emplacement.

Si l'on suit plus exactement les passages, et si l'on recherche des emplacements où l'on rencontre parfois à une courte distance des formations de terreau typique, les formations de tourbe les mieux définies avec de la terre rouge puissante et dure comme la pierre, comme celle qui se trouve en général dans le sol de landes moins sec, jusqu'au sol frais et humide, on reconnaît plusieurs nuances dans le passage, comme par exemple c'est le cas sur la limite entre le Viborg Krat et la lande de Viborg. Sur le côté Nord-Est du Viborg Krat, au voisinage de la maison forestière, une formation montagneuse se change insensiblement en une plaine vallonnée, et la limite du joli boqueteau s'approche à peu près du pied de la hauteur, si bien qu'à l'œil nu, il n'existe aucune différence visible[1] relativement au

1. La carte générale de l'état-major montre pourtant que le boqueteau existe ici dans une proportion de 1 à 400 ou 1 : 450.

terrain à l'intérieur et à l'extérieur de la limite du boqueteau : de même, d'après les analyses entreprises, le sous-sol est le même aux deux places. En général, le terrain est relativement bas placé et le sol est plus humide que dans les landes élevées. Si l'on examine un profil obtenu en creusant des trous, suivant une ligne Nord-Est à peu près perpendiculaire, sur les limites du bosquet le sol montre tous les passages entre les trois stades représentés par les figures 2, 3 et 4 du tableau III. La figure 2 montre l'aspect du sol 20 ellen (276^{m},12) à l'intérieur de la limite du bosquet : sous une végétation de plantes de terreau et une misérable couverture de déchets de la forêt, gît une superficie meuble, sombre, graveleuse sur une couche supérieure du sous-sol (*a*) couleur terreau, qui, à une profondeur de 10 pouces (0^{m},2615), se transformait dans la couche du sous-sol faiblement colorée en brun large de 10 pouces (0^{m},2615), décrite plus haut. La figure 3 donne une image de l'état du sol 20 ellen (276^{m},12) à l'extérieur de la limite du boqueteau. La végétation consiste ici en haute bruyère, comme c'est ordinairement le cas sur les jeunes landes et le sol est recouvert d'une jolie couche d'hypnum, qui existe à peine sur de vieilles landes ; outre cela, se trouvent aussi le genévrier et le genêt. La superficie du sol consiste en une couche de tourbe qui n'est pas particulièrement définie ou qui est visqueuse, de puissance très restreinte ; au-dessus gît, comme dans le boqueteau, à une profondeur de 10 pouces (0^{m},2615) un sable couleur de terreau, qui est pourtant un peu plus ferme, montre au creusement une consistance plus grande que la couche supérieure du sous-sol, et qui doit sa coloration plus sombre au dépôt d'une grande quantité d'éléments humiques. Le ton de couleur plus claire n'existe pas dans cette couche, comme dans la couche correspondante sous le terreau, mais plus près du milieu, tandis que la partie la plus inférieure de la couche, comme le montre la figure, contient de nouveau un plus grand amoncellement de particules humiques déposées et par suite présente un aspect semblable à celui de sa partie supérieure. Enfin vient de nouveau, dans la superficie du sous-sol, la couche brunâtre dont on a parlé plus haut, dont la puissance est tout à fait égale à celle de la couche existant sous le terreau du bosquet, mais qui possède une coloration plus intense que celle-ci.

Plus on pénètre loin dans la lande, plus augmente la puissance de la croûte ; dans la couche supérieure du sous-sol, se séparent peu à peu trois couches : l'une, superficielle, sombre, couleur d'humus, tissée par des racines de bruyères, une couche moyenne, analogue au sable plombifère, mais pourtant relativement riche en humus, et une couche inférieure qui est de nouveau intensivement sombre ou tout à fait noir-brun. La zone a toujours une coloration sombre dans la partie supérieure du sous-sol et nous arrivons peu à peu à un profil de la nature de celui qui est représenté par la figure 4 du tableau III, qui montrera à tout forestier expérimenté que c'est une de ces localités défavorables pour les plantations, que les landes offrent généralement. Sous une couche supérieure du sous-sol, qui a l'aspect qu'on vient de décrire, gît une formation noir-brun d'*Ortstein,* d'une puissance de 12 pouces ($0^m,3138$), très dure et en même temps ici humide, qui se transforme vers le haut, sans délimitation sensible, en la couche de sable plombifère et qui se perd vers le bas, dans le sous-sol, en dessins de différentes espèces, tantôt en cônes et en langues, tantôt en formes qui donnent au profil un aspect marqueté. Mais, si l'on n'a pas suivi les formes de passage, on ne découvrira pas toujours que cette couche d'*Ortstein* consiste réellement en deux et que la limite qui les sépare se trouve exactement à la place où se montrait la limite entre la couche supérieure du sous-sol et le sous-sol du terreau dans le boqueteau. La partie supérieure de cette couche qui passe peu à peu vers le haut au sable plombifère, consiste principalement en charbon humique (*Humuskohlen*) déposé entre des grains de sable blanc de neige, de même nature que le sable plombifère. Ces dépôts de particules d'humus croissent en quantité vers le bas et forment souvent une masse d'un caractère tout à fait tourbeux, quelquefois entièrement traversée par un tissu de racines de bruyères, qui n'existent que très pauvrement dans la couche sus-jacente de sable plombifère. Au contraire, la partie inférieure, dont la délimitation correspond vers le haut à la superficie du sol, a un tout autre caractère. Ici, on voit rarement, ordinairement même pas du tout, les grains de sable blanc briller à l'intérieur ; ceux-ci sont tous enveloppés de croûtes brunes ou noir-brun d'acides humiques ou de combinaisons de ces acides, et la

coloration diminue vers le bas, jusqu'à ce qu'enfin elle disparaisse complètement. Ces deux couches forment ensemble l'*Ortstein;* mais la partie supérieure de la couche est beaucoup moins constante que la partie inférieure, a souvent une extension extrêmement petite et se développe toujours le plus fortement aux places plus humides des landes. Emeis représente dans quelques-uns de ses dessins des profils jolis et corrects de sols de landes, qui sont en partie illustrés par la figure 4[1] et en partie correspondent à des périodes plus avancées encore[2].

L'état du sol représenté ici à un éloignement différent des limites du boqueteau vers le nord-ouest trouve son complément dans les conditions d'un emplacement voisin, le Findskov Krat. Là, le sol avait principalement le caractère de la vallée de lande ; ici, on se trouve sur la brande montagneuse. Là, il n'existe aucune démonstration certaine que la forêt se soit étendue, à une époque antérieure pas trop éloignée, sur les parties actuelles des landes ; ici, nous trouvons une croissance de chênes rabougrie, qui s'étend jusqu'à une belle forêt considérable dévastée dans la dernière moitié du siècle précédent, où l'on pouvait encore voir, en l'année 1880, des tronçons de chênes non pourris ayant un diamètre de 1 à 2 pieds ($0^m,3138$ à $0^m,6277$), qui s'élevaient au-dessus de la bruyère ; mais ces deux emplacements ont comme point commun une fraîcheur un peu plus grande du sol, qu'on ne la rencontre en beaucoup d'autres endroits des landes et nous trouvons sur le dernier emplacement tout à fait la même formation de sol avec les passages correspondants, tels que ceux que nous venons de décrire en détail pour les premiers. Le sol sous un petit taillis de chênes, haut de 4 pieds ($1^m,255$) et large de 6 pieds ($1^m,883$), à des distances de 3 et 100 ellen ($41^m,418$ et $1,380^m,6$) du bord du hallier, donne des profils qui concordent entièrement avec ceux pris aux environs du boqueteau de Viborg et représentés par les figures 2, 3 et 4 du tableau III. Cependant le sol de landes dessiné n'était pas aussi riche en humus et l'*Ortstein* pas aussi complètement sombre et épais que sur la figure 4.

---

1. C. Emeis, *Recherches et observations forestières*. Berlin, 1875, tableau II, fig. 5.
2. *Passim*, tableau IV, fig. 4, et tableau V.

Si l'on se rappelle nos observations sur la dégénérescence de la forêt de chênes et sa transformation en végétation rabougrie, si l'on voit à quel point le terreau est presque exclusivement lié à la forêt et aux broussailles, comme pour le développement des deux intervient et interviendra toujours un mauvais traitement, auquel prendraient part la nature et les hommes dans le cours du temps, il me semble que l'on peut admettre, avec une sûreté aussi grande que les conclusions d'analogie (*Analogieschlüsse*) le permettent, — et une autre forme de conclusion se formule à la vérité ici, où l'expérience est enchaînée, où la recherche n'est pas nécessaire, — que les passages du sol de terreau et de tourbe de lande, qu'offrent différentes parties des localités décrites, indiquent en même temps des passages à l'époque de la transformation de ce sol de terreau en tourbe. Si la végétation forestière est limitée, la formation de terreau, dans ces régions, est ordinairement séparée de la formation de tourbe et il y a des périodes de passage que nous trouvons dans le sol tout aussi bien qu'au bord des *Krattbüsche* que lorsque nous taillons nos profils à l'intérieur de la limite de la forêt dans la lande. La dégénérescence de la forêt de chênes et sa transformation en lande ne doivent pas d'après cela être attribuées seulement à l'action directe du vent d'ouest sur les arbres, mais aussi à une transformation du sol très importante et fatale à la végétation forestière. Notre conclusion repose donc sur l'hypothèse que le sol tourbeux des landes, dont l'empreinte n'est pas parfaitement nette, est plus jeune que celui qui est fortement développé ; de même aussi que la forêt est disparue plus tôt ici que là, et toutes nos observations nous autorisent à admettre cette supposition.

Le sol des broussailles de chênes (*Eichengestrüpp*) peut souvent, sur une petite surface, servir de démonstration au procédé de transformation. Nous avons déjà vu que sur le terrain sec, dans les forêts de chênes tombées en décadence, des couches de nature tourbeuse peuvent prendre naissance sur la superficie de la terre et on retrouve exactement ces mêmes conditions, comme nous l'avons indiqué auparavant, dans le bosquet isolé sur les landes. Pourtant, de pareils *Krattbüsche* ne couvrent pas de beaucoup un sol en forme de terreau, mais on trouve aussi tous les passages entre le terreau

et la tourbe sous le dais de ce bosquet. Quand son dais s'éclaircit vers le bas, ou quand la couronne commence à se sécher, alors d'abord les airelles myrtilles, plus tard la busserole et enfin la bruyère et les bosquets de camarine noire font irruption des côtés sous le dais et les plantes de terreau se retirent plus loin aux places les mieux ombragées. A l'airelle myrtille et à la bruyère succède la formation de tourbe, au commencement plus faible, puis toujours plus forte, jusqu'au moment où la formation de lande enveloppe tout le terrain du *Krattbusch*. Il est au plus haut point intéressant de remarquer qu'on retrouve sous un pareil bosquet, haut seulement de quelques pieds sur la lande, d'une surface de 10 à 20 *Quadratellen* (130^{mq},806 à 261^{mq},612), cette même série d'états pendant la transformation du terrain, que nous avons observée dans la forêt de chênes de Hald sur un terrain de plusieurs centaines d'hectares, et les causes de cette transformation sont les mêmes, c'est-à-dire l'extension d'une végétation qui forme de la tourbe par suite d'un affaiblissement de l'ombragement et de la protection du sol.

Sol de landes recouvert de tourbe sans formations de sable plombifère et d'Ortstein. — On ne doit que mentionner brièvement ce fait, sur lequel nous reviendrons plus tard, qu'exceptionnellement dans notre pays se trouvent des landes avec des dépôts humiques analogues à la tourbe à la superficie du sol, sans qu'on trouve liées avec elles les couches de sable plombifère et d'*Ortstein*, qui ne font jamais défaut sur les landes jütlandaises, sur beaucoup de milles carrés. Nous trouvons cette apparition en partie par places sur le sol riche en chaux, en partie sur les étendues de landes de *Bornholm*, appelées « Allmende », où une couche de terre mince, généralement argileuse, est déposée sur le granit. La tourbe de landes, dont l'empreinte n'est pas très nette, est accompagnée ici d'un dessin flamboyant, dans le sol sous-jacent, produit par les acides et charbons humiques déposés dans les déchirures et dans les fentes ; parfois aussi le sol a une coloration foncée produite par des combinaisons humiques. Mais là où, dans ces régions, il existe de petits monticules de sable où la couche de terre, comme sur de plus grandes étendues dans les plantations près Rö, renferme plus de sable et est déposée en une plus grande puissance sur le roc, on retrouve très ordinaire-

ment des formations semblables à celles qui sont connues comme appartenant aux landes jütlandaises.

Observations sur les sols portant d'autres formes de végétation.— Pour la compréhension des descriptions précédentes touchant les conditions du sol dans les forêts de chênes et les landes, il sera nécessaire de les comparer avec les observations faites sur le sol sous d'autres formes de végétation naturelle. Tournons-nous d'abord vers les différences dans la couche superficielle du sol des forêts de hêtres qui ont été traitées dans le premier chapitre de ces études. La série considérable d'observations que l'auteur, dans l'espace de cinq années écoulées depuis la publication de la première partie de ce travail, avait eu l'occasion de faire sur les sols dans les forêts de hêtres, a confirmé sous chaque rapport la justesse des principes posés touchant les formes des dépôts humiques dans les forêts de hêtres. On se rappellera que les traits principaux de ces principes se résumaient de la façon suivante : Dans les forêts de hêtres, la superficie du sol peut tout aussi bien être recouverte de terreau meuble de structure graveleuse que d'une tourbe ferme et tenace qui consiste principalement en masse de déchets de la forêt de hêtres, traversée par un tissu entre-croisé et épais de fines racines de hêtres et d'un champignon mycélium lentement destructible. La surface du sous-sol sous le terreau est une masse uniformément colorée, parfaitement meuble et assez homogène, colorée à un degré plus ou moins grand par les matières humiques ou les combinaisons de l'humus, dont pourtant la quantité et l'intensité de la couleur diminuent avec la profondeur. La couche superficielle du sous-sol sous la tourbe nettement définie est surtout ferme, parfois très ferme, à la vérité, suivant la nature des parties de mélange du sol, aussi bien que la puissance et l'âge de la formation de tourbe ; elle est séparée en une couche supérieure de sable plombifère et une couche inférieure de terre rouge ou d'*Ortstein*.

Les recherches récentes ne limitent que sur un seul point la justesse de ces principes, en ce sens que j'ai trouvé des formations de tourbe de hêtres, qui n'étaient pas accompagnées de sable plombifère ou d'*Ortstein*. Cette observation, qui, comme nous le verrons plus tard, semble éclairer utilement la question de la for-

mation, avait été faite dans le district de Buderupholm. Dans la partie Nord, cette grande et intéressante région forestière, connue sous le nom de « Rold Skov », a tant de ressemblance avec la chaux de la plus ancienne formation crétacée danoise, à la surface, que les taupinières sont souvent très blanches. Cela est notamment le cas dans le Bjergeskov et le Nordskov, qui occupent les puissantes parties montagneuses qui bornent la vallée du ruisseau de Rold vers le sud-ouest et dans Skjörpinglund. La chaux y est ordinairement recouverte d'une couche de sable d'alluvion maigre, extraordinairement pauvre en argile, de différente puissance ; seulement, la grande quantité de morceaux de silex qu'elle renferme témoigne de la part que la formation crétacée a prise à la formation de ces couches de diluvium. Ce sol, sec et chaud, en partie aussi maigre, est, à beaucoup d'endroits, recouvert de terreau de même nature que le terreau de sable (*Sandmull*) dans les forêts de chênes, comme notamment dans les pentes Nord et Nord-Ouest du Bjergeskov. Ici, la croissance des hêtres est bonne, leurs tiges sont souvent blanches et leurs formes ne sont mauvaises que là où l'influence du vent d'Ouest est sensible. Mais, à d'autres places, principalement sur les hauteurs et vers l'Ouest, au voisinage du chemin de fer, l'aspect du hêtre n'est pas beau, le sol qui n'est pas recouvert de terre est ferme et sec. Une recherche plus complète montre que la terre est revêtue d'une couche épaisse et ferme de nature tourbeuse dans laquelle les racines du hêtre se ramifient, comme dans la tourbe de hêtre ordinaire ; je ne l'ai vue nulle part atteindre la puissance à laquelle s'élèvent les formations de ce genre bien définies. Elle a, outre cela, une autre couleur que celle-ci, car elle est brune ou même brun-clair ; je n'ai jamais vu à de telles places la couleur presque noire ou brun-café qui caractérise la tourbe de hêtres typique. A la place du sable plombifère se trouve ici une couche supérieure du sous-sol, claire, couleur terreau, rendue très ferme par un réseau extrêmement fin de racines de plantes, mortes ou vivantes, qui forme un tissu à travers la couche, et celle-ci se transforme insensiblement, sans formation de terre rouge, en un sous-sol sableux, graveleux ou riche en pierre à fusil. Cette formation de nature tourbeuse, particulière, claire (ce qui veut dire pauvre en acides humiques), je ne l'ai trouvée à aucun

autre endroit que là où le voisinage de la chaux donnait à penser que le sable devait être plus riche en cette matière que le sable d'alluvion en général. Dans la même partie de la forêt, environ à un mille de Bjergeskov, lors de ma visite dans l'été de 1880 (dans la forêt de Mylenberg, au voisinage de la maison de chasse), on avait fait, récemment, un chemin à peu près au milieu sur le bosquet des hauteurs considérables qui limitaient vers l'Ouest la vallée de Roldbach. Là gît la chaux, recouverte de puissantes couches de sable d'alluvion de 200 pieds (62^{m},770) et — ce que montre l'apparition plus rare de la pierre à fusil — n'a pas pu être mélangée au sable aussi bien que là où celui-ci se trouve tout près de la superficie. Le chemin récemment creusé, qui ouvrait dans la montagne un profil excellent d'une longueur très considérable, et qui avait une profondeur moyenne d'environ 4 à 6 pieds (1^{m},255 à 1^{m},883), me donna la conviction que la formation tourbeuse puissante existant dans la forêt, était de nature tout à fait normale et était accompagnée comme d'ordinaire de fortes couches de sable plombifère et d'*Ortstein*. Plus loin, vers le nord (par exemple dans les puissantes collines de Oblev-Tved), la chaux atteignait de nouveau tout près la superficie du sol et ici aussi apparaissait à nouveau entre les masses sans fin de pierre à fusil grise de la craie d'origine plus récente, la même formation de tourbe mince, claire et anormale, comme aux environs de Bjergeskov, où les débris noirs de pierre à fusil prépondérants montrent que le dépôt inférieur de la couche est formé de craie plus ancienne.

Comme nous le verrons plus tard, il est raisonnable d'admettre que ces formations de tourbe de hêtres sans sable plombifère ni *Ortstein* sont analogues aux couches de tourbe de landes qui existent dans le Allmende sur Bornholm, et dont on a parlé plus haut, sous laquelle la différenciation dont on a parlé fait également défaut dans le sol.

La forme de l'humus dans les forêts d'épicéas. — Dans la première partie de ce travail, on a fait remarquer incidemment que, même dans les forêts d'épicéas, il pouvait exister des formations de tourbe.

Sous les plus anciennes forêts d'épicéas sur de meilleur sol, celui-ci est en général recouvert d'un tapis de mousse assez meuble, qui

ramasse en lui les masses de déchet de la forêt. Sous ce tapis se trouve un terreau sombre, poreux, de caractère normalement graveleux, dans lequel les vers de terre accomplissent une grande partie de l'œuvre de la transformation et la couche de terreau grenue, tout aussi bien que les couches supérieures et inférieures du sous-sol, se comporte tout à fait comme dans la forêt de hêtres. C'est ainsi, par exemple, qu'est constitué le sol dans la partie occidentale du grand peuplement d'épicéas dans la forêt de Gel, près Copenhague.

Mais, quand on pénètre plus avant dans cette forêt d'épicéas, on passe du meilleur sol à des tertres de sable très maigre, dont la superficie est découpée. On remarque aussitôt ici qu'on marche sur une couche plus ferme. Le sol est recouvert d'une couche épaisse de 2 à 3 pouces ($0^m,052$ à $0^m,078$), tenace, traversée par un tissu de fines aiguilles d'épicéas, et sous cette tourbe d'épicéas se trouve une couche mince de sable plombifère et une bande nette, bien que pas fortement dessinée, de terre rouge de 1-2 pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0523$) de puissance. L'histoire de la forêt aussi bien que la nature des couches elles-mêmes, mettent hors de doute que la terre rouge, aussi bien que le sable plombifère, a pris son développement au temps où les épicéas recouvraient ce sol, c'est-à-dire 50 années environ. Entre la tourbe d'épicéas et le sable plombifère, il n'existe aucun reste d'une autre végétation, sous les déchets de laquelle les deux couches auraient pu se former dans la croûte terrestre. La tourbe d'épicéas est claire, renferme à peine autant d'acide humique que la tourbe de hêtres et la tourbe de landes et n'est pas non plus aussi ferme que celle-ci; de plus, les racines d'épicéas ne peuvent former dans la tourbe un tissu aussi épais que celui développé habituellement par les racines de hêtre et de bruyère. Aussi, dans la tourbe d'épicéas, les mycéliums jouent sans aucun doute un rôle de ciment; mais je n'ai pas vu ici les *Cladosporium Mycelium* bruns ou noirs éphémères se présenter aussi généralement et en pareille quantité que dans la tourbe de hêtres.

La tourbe d'épicéas existe avec une grande extension dans nos forêts d'État du nord de Seeland sur un sol maigre et sec. Elle repose ici souvent sur de puissantes formations de sable plombifère et d'*Ortstein* sur lesquelles nous reviendrons plus bas. Mais là où une recherche attentive montre que la forêt d'épicéas n'est pas ressuscitée

sur des formations de tourbe, produites par une autre végétation, les couches de sable plombifère et de terre rouge sont de puissance plus restreinte et moins bien dessinées que celles dans Gelsskov, décrites plus haut.

Dans une autre forêt du nord de Seeland (Teglstrup Hegn) se trouve une petite surface au plus haut point instructive au point de vue du pouvoir qu'ont les différentes essences de produire la formation de tourbe et d'activer son développement. Au voisinage de la maison de Kobberdam (*Kobberdamhaus*) existe une pépinière depuis longtemps conservée, haute et encore entourée d'un remblai. Les arbres qui croissent ici ont certainement pour origine un reste de plantes arbustives, qui autrefois se tenaient dans une couche de plants repiqués ; la moitié des arbres consiste en épicéas et l'autre moitié en chênes, mais tous d'un âge compris entre 35 et 40 ans. Sous les chênes, se trouve du terreau, quoique seulement en petite quantité, tandis que sous les épicéas apparaît un commencement évident de formation de tourbe, dont la couche atteint souvent l'épaisseur d'un pouce ($0^m,026$) et a produit çà et là à la superficie du sol des bandes de sable plombifère. Comme ce sol a été, sans aucun doute, travaillé tout à fait de la même façon sur toute la surface et a reçu en même temps les deux essences, il offre un exemple très significatif de l'influence différente exercée par ces essences sur la nature de la superficie du sol.

Par une décision royale du 10 novembre 1883, environ 100 hectares de la partie du pays appelée Helsingörs Overdrev (*Gemeindeanger*) furent consacrés à une plantation forestière. Ce terrain est aujourd'hui peuplé en plus grande partie par une forêt d'épicéas de 70 à 80 ans, qui a acquis un très bon développement à certaines places ; ce peuplement est tellement imparfait qu'on ne peut aucunement mettre en doute que ces irrégularités doivent être attribuées à une culture insuffisante. Dans mes études sur la tourbe d'épicéas dans ce terrain qui est très coupé et qui consiste principalement en crêtes et en collines isolées, séparées les unes des autres par des marais tourbeux, mon attention a été appelée sur une condition qui a éclairé d'une façon très intéressante un des côtés de la formation de la tourbe. Sur les collines les plus hautes et les plus sèches, se

trouve, sous la tourbe formée au cours d'un cycle de végétation d'environ 80 ares, une couche de tourbe noir-brun puissante, qui, examinée soigneusement, montrait à la partie supérieure des restes d'une végétation de bruyères et, en dessous, des restes d'une végétation de hêtres. Sous cette couche d'une épaisseur de 6 à 8 pouces (0^m,1569 à 0^m,2092), se trouve une couche de sable plombifère, assez blanche, de la même épaisseur, et dessous un *Ortstein* dur comme la pierre, d'épaisseur si considérable, qu'il me fut impossible d'opérer un creusage dans son intérieur; il avait vraisemblablement une puissance de 10 à 16 pouces (0^m,2615 à 0^m,4184), comme je l'ai trouvé à d'autres places plus accessibles dans la même forêt. Cette observation semble confirmer la justesse de la caractérisation que j'ai exprimée auparavant: une formation de tourbe sur le sec. Enfin, ici, sur le sommet d'une colline sèche, gisaient à la surface du sol des dépôts de restes de végétation très différents, qui peut-être recouvraient le sol depuis plus de 200 ans, tout aussi bien que nous trouvons dans nos marais tourbeux les restes de végétations changeantes sur et près le marais.

Tourbe et terreau dans les prairies salées. — Pour comprendre la signification des différentes formations de sols que nous trouvons dans la forêt et dans la lande, il peut être utile de faire des observations à d'autres endroits, où nous trouvons la superficie naturelle du sol. Dans notre pays fortement cultivé et travaillé, en dehors des forêts et des landes, il n'y a pas beaucoup de localités où la superficie du sol n'ait pas été modifiée par le travail humain. Dans nos champs pierreux, qui ne sont pas labourables et dans nos prairies naturelles, on trouve aussi loin que se sont portées mes recherches, du terreau avec son état tout à fait caractéristique, par rapport à la structure, la consistance de la partie supérieure du sous-sol. Il en est tout autrement au contraire des prairies salées. J'ai examiné celles-ci près Hofmansgave, dans le Nord de la Fionie. Là où les flots d'eau de mer submergent les gazons, ceux-ci sont recouverts d'une végétation de plantes salines ou halophiles (*Salzpflanzen*) et analogues : cette végétation forme sur le sable marin une tourbe brun clair, d'une épaisseur d'environ 6 à 8 pouces (0^m,1569 à 0^m,2092). Cette formation a une ressemblance complète avec les formations

de tourbes ordinaires et consiste en restes de déchet de la végétation liés ensemble par un tissu infiniment épais de racines des plantes en croissance ; les parties inférieures de la couche sont très fortement décomposées et forment une masse graisseuse, sans grande ténacité. Par leur couleur claire, qui paraît indiquer une formation restreinte d'acides humiques, elles se rapprochent le plus de la tourbe d'épicéas et de hêtres sur le sol calcaire. Doit-on chercher la cause de ce fait dans les procédés particuliers d'humification de la végétation elle-même, circonstance à laquelle, comme je le pense, la tourbe d'épicéa doit surtout sa couleur claire et sa limitation de la formation de terre rouge, ou bien la raison est-elle que le sol sableux qui gît sous la prairie salée est particulièrement riche en chaux, grâce à la grande quantité d'écailles calcaires de mollusques (notamment *Mya arenaria* et *Cardium edule*)? Je dois, à cause du manque de recherches chimiques, rester indécis sur ce point ; il se peut que ces deux moments contribuent tous deux à la nature de la couche.

Çà et là, de petites îles et de petits monticules s'élèvent dans les prairies salées, qui, quoiqu'ils ne s'élèvent qu'à peu de pouces seulement au-dessus du niveau de la prairie, ne subissent pas l'action de l'eau de la mer. Ces points montrent d'une façon frappante une différence dans la surface environnante, en ce sens qu'elle porte une croissance végétale tout à fait différente de la végétation de celle-ci, croissance qui se montre d'abord le long du bord de la prairie, aussitôt que le terrain s'élève un peu au-dessus de la plus grande hauteur de l'eau. Un examen plus minutieux du sol de ces parties plus hautes montre que la forme d'humus est ici le terreau parfaitement caractéristique. Quand on enlève la mousse et les autres plantes qui recouvrent le sol, alors apparaissent aussitôt le terreau grisâtre avec une grande quantité d'excréments de vers de terre distincts et la structure graveleuse caractéristique de la superficie du sol en forme de terreau. L'humification se fait ici souvent à une distance de plusieurs toises, d'une façon tout à fait différente et nous verrons plus tard quelle différence péremptoire règne dans la flore et la faune de ces emplacements, quoique aux deux places le sol consiste en sable marin.

Le sous-sol sous la tourbe de marais. — Si la désignation que j'ai adoptée dans la première partie de ce travail, pour caractériser la tourbe de hêtres comme étant le résultat d'une formation de tourbe sur sol sec est exacte et si le rôle qu'à mon avis on doit attribuer aux acides humiques solubles formés dans la tourbe, au point de vue du développement du sable plombifère et de l'*Ortstein* ou de la terre rouge, devait être confirmé, des formations tout à fait semblables dans le sol sous les marais proprement dits devraient alors se montrer là où ce sol est de telle nature que l'eau, qui s'infiltre dans le sous-sol, puisse pénétrer à travers lui. Déjà, au début de ces études, j'ai dirigé mon attention sur ce point, mais c'est seulement dans l'été de 1880 que j'ai été mis en possession du matériel d'études spécial nécessaire à ce genre de recherches.

Une grande surface d'environ 100 hectares, acquise en 1846, consistant principalement en boqueteaux de chênes et en landes de bruyère, dans laquelle se trouvaient un certain nombre de parties marécageuses, enfoncées à une grande profondeur, occupait la partie sud de la forêt de *Vindum,* dans le district forestier d'État de *Viborg,* dans le Jütland. Sous une croûte de lande, d'une épaisseur d'environ 9 pouces ($0^m,2353$), gît à la partie supérieure, dans le sol humide, une couche de sable plombifère argileuse vraiment remarquable, et sous celle-ci, la couche superficielle du sol argileux est colorée par une formation irrégulière de terre rouge, tout à fait semblable à celle que j'ai trouvée sur d'autres sols argileux, décrite et dessinée comme Profil IX, page 33. Une autre partie que j'ai examinée est un marais élevé (*Hochmoor*) ou marais de lande (*Haidemoor*) d'une grandeur vraiment remarquable, mais de profondeur peu considérable ; les places non drainées étaient si humides qu'on pouvait à peine passer. Sur une étendue de 4 hectares, ce marais avait été, immédiatement avant la recherche, traversé complètement par des fossés profonds de 3 à 5 pieds ($0^m,941$ à $1^m,569$), éloignés l'un de l'autre de 16 pieds ($5^m,0216$) et établis suivant deux lignes perpendiculaires, si bien que le réseau des fossés formait un système de carrés. Les fossés allaient d'un bord à l'autre du marais et non seulement avaient brisé la masse entière de tourbe sur une grande partie de la surface, mais ils avaient été conduits à l'intérieur d'une

ligne dans la couche du dessous. Il était donc ainsi possible d'examiner très complètement les couches les plus basses du marais, sur une surface aussi étendue que 4 hectares. On constata que sous une couche de tourbe, dont la puissance s'élevait, en moyenne, à 2 pieds et demi ($0^m,7846$) et qui ne renfermait aucun tronc d'arbre, se trouvait une couche normale de sable plombifère ayant jusqu'à 1 pied et demi d'épaisseur ($0^m,4077$) et en dessous, une terre rouge très dure, colorée par des acides humiques de même profondeur, et que ces couches n'avaient pas été, en général, brisées par le creusage. Un creusement plus profond d'un pied ($0^m,31385$), fait dans ces couches, n'amena pas encore au jour le sous-sol pur non coloré. Sur quelques lignes, s'élevaient au-dessus du sable, sous forme d'îles, des parties plus ou moins grandes, d'une argile « bleue » plastique. Ici, le terreau reposait immédiatement sur l'argile ; la formation de sable plombifère faisait défaut, mais la couche supérieure d'argile était marbrée par des matières humiques, qui çà et là s'enfonçaient sous forme de veines dans la couche immédiatement sous-jacente de la tourbe, ce qui donnait le même aspect que l'argile plastique sous la couche de sable plombifère, dans le Profil IX mentionné plus haut. L'eau, chargée d'acide humique, a vraisemblablement reçu une décharge des couches de sable décoloré et beaucoup plus puissantes qui l'entourent de tous côtés et l'argile n'est pas devenue le guide du transport de l'eau. Il me semble que les conditions, sur ces emplacements, contribuent à un haut degré à renforcer l'analogie entre la formation sèche de tourbe et la formation de tourbe marécageuse [1].

Formations de sable plombifère et d'Ortstein dans les forêts con-

---

1. On pouvait facilement supposer qu'on trouverait dans les couches de charbon, dans l'argile réfractaire pauvre en fer et le fer houilleux une analogie relativement à la tourbe de différente espèce et les couches sous-jacentes par des combinaisons pauvres en fer et ferrugineuses. Quoique, pour moi, l'existence d'une pareille analogie me paraisse, avec la plus haute vraisemblable, pouvoir être justifiée, je risque pourtant ici de remettre cette supposition à un examen plus approfondi, parce que je n'ai pas trouvé dans les ouvrages spéciaux sur les dépôts carbonifères nouveaux et anciens, que j'ai pu examiner, la succession réciproque des couches dont on a parlé assez constamment, pour qu'il ne puisse s'élever un doute, sur différents points, au point de vue de la justesse de l'analogie.

verties en marais avec sol sableux. — Dans le district forestier d'État de Falster, dans la forêt de Hanenover et peut-être dans le district forestier de Jägerspris (Nordskoven) [1], dans le Horn Harde dans Seeland, se trouvent des formations de sable plombifère et d'*Ortstein* distinctes, qui, bien qu'elles ne soient pas très fortement développées, se rattachent à une forme de dépôts humiques un peu différentes de celles décrites plus haut. Il n'existe pas là une formation de tourbe proprement dite, au moins pas dans la forêt de Hanenover, mais le terrain plat qui porte la forêt et qui consiste principalement en sable fin reposant sur un sous-sol impénétrable, a été transformé en marais, si bien que la superficie du sol est mouillée pendant la plus grande partie de l'année, sans que pourtant une formation réelle de tourbe ait eu lieu. Maintenant, ces forêts sont, à la vérité, drainées, mais la tradition a conservé le souvenir de l'époque, qui n'est pas antérieure à la génération actuelle, où, excepté par un été extrêmement chaud, elles étaient des marécages presque inaccessibles. Je pense que ces bandes, où, parmi les plantes qui forment la végétation naturelle, la fougère aigle (*Adlerfarne*) et les buissons de carex (*Seggenbüschel*) sautent aux yeux, n'ont pas été assez mouillées pour permettre une formation de tourbe, mais trop humides pour provoquer un développement normal de terreau proprement dit et que l'humidité a favorisé la formation d'acides humiques à un degré aussi fort que celui qu'elle atteint ordinairement là où le terrain est recouvert de tourbe réelle.

L'influence de la vie organique sur le sol.

Les plantes. — Des observations communiquées plus haut, si on les compare aux faits énoncés dans la première partie de ce travail, il résulte que : en partie la forme de la végétation a une influence sur la nature des dépôts humiques, et en partie que le caractère de ces derniers exerce à son tour une influence sur la physionomie typique de la flore.

---

1. Je ne connais que superficiellement ce dernier emplacement ; mais j'ai trouvé l'analogie avec les conditions de la forêt de Hannenover si frappante, que je ne vois aucune difficulté à les classer ensemble.

En ce qui concerne le premier point, je ne connais aucune végétation dont les masses de déchets aient été déposées toujours sous forme de tourbe sur le sol ; mais il est évident que certaines formes de végétation occasionnent, plus facilement et plus ordinairement une formation de tourbe que d'autres, parce qu'il y en a quelques-unes pour lesquelles la tourbe est la forme la plus fréquente, tandis que chez les autres elle est rare.

Aux plantes qui forment la tourbe (*torfbildende Pflanze*) dans nos forêts, appartiennent avant tout les représentants de la famille des éricinées dans notre flore, particulièrement la bruyère commune (*Calluna vulgaris*), mais aussi les airelles myrtilles (*Vaccinium Myrtillus*) et peut-être aussi l'*Erica tetralix*. Le hêtre est, de toutes les essences forestières, celle qui provoque le plus facilement une formation de tourbe, qui fréquemment, d'ailleurs dans les mêmes conditions, se trouve dans les forêts de hêtres en couches plus puissantes que sur ces landes. Enfin, nous avons vu aussi que les déchets (*Abfall*) de l'épicéa peuvent former de la tourbe, bien que cet arbre ne puisse occasionner des formations de terre rouge aussi puissantes et à empreinte aussi nette que celle de la tourbe des plantes nommées auparavant. Enfin le Bohémien Purkyné justifie (voir plus bas) la possibilité de l'existence de la tourbe même dans les forêts de pins sylvestres, mais comme je n'ai pas eu moi-même l'occasion de faire des observations sur ces formations, qu'on trouve difficilement en Danemark, je crois pourtant devoir admettre en toute assurance que la tourbe, qui peut exister dans les forêts de pins sylvestres de l'étranger et que j'y ai vue aussi, a été formée non pas avec le concours du tissu de racines des arbres de la forêt, mais bien par la végétation sur ce sol d'airelles myrtilles et de bruyères, fréquente sous cette essence. Dans les rares forêts de pins sylvestres du Danemark (la forêt de Brommer près Sōro, la forêt de Hornback, l'enclos [*Gehege*] de Tidsvild), je n'ai trouvé aucune formation de tourbe, bien que le sol de ces forêts d'une certaine étendue semble particulièrement apte à développer cette forme d'humus.

Plus loin, la forêt de chênes paraît ne pouvoir donner naissance à une formation de tourbe qu'exceptionnellement ; aux places isolées où cette sorte d'humus se trouve dans les forêts de chênes, le tissu

de racines, qui prend part à la formation, dépend sans doute de la végétation du sol, et la masse principale de la couche ne consiste pas, au moins pour les formations plus puissantes, en déchets de la forêt incomplètement détruits et formant un tissu avec la tourbe; mais principalement en un détritus organique fin, vraisemblablement apporté sur la terre par la vie animale, les organismes vivants de la forêt.

Apparemment, la cause du pouvoir qu'ont les différentes végétations de former la tourbe est de nature passablement compliquée; mais, pourtant toutes les plantes, dont les déchets se trouvent fréquemment déposés comme masse de tourbe, ont une propriété commune pleine d'importance : c'est-à-dire les efforts qu'elles font pour former dans la croûte terrestre même, sur sol sec, des tissus de racines. Ce fait a déjà été démontré auparavant, relativement au hêtre; il a encore une valeur plus grande pour les plantes des landes, particulièrement la bruyère, aussi bien que, quoiqu'à un degré moindre, pour l'épicéa, mais pas du tout pour le chêne et le pin sylvestre. Le premier semble être le seul qui, parmi nos essences indigènes, malgré sa domination pendant des milliers d'années sur un emplacement maigre et extraordinairement sec, ne donne naissance que rarement à la tourbe et ne forme jamais un épais tissu de racines dans la croûte terrestre. Comme nous avons vu quel élément absolument essentiel de la tourbe représente, en général, le système de racines de la végétation dominante et à quel degré il contribue à donner à la tourbe sa densité et sa ténacité, on doit admettre, en toute sûreté, que les particularités en question fournissent, pour les plantes de ces formes de végétation, un moment principal pour l'explication de leur disposition à former de la tourbe, sans qu'à côté de cela on doive contester que la nature chimique de leurs déchets peut favoriser la formation de ces couches; ce qui est peut-être surtout le cas pour l'épicéa, dont les racines ne jouent pas le même rôle dans la tourbe que celles du hêtre et de la bruyère.

L'expérience faite dans l'enclos (*Gehege*) de Teglstrup, où des peuplements de même âge d'épicéas et de chênes se tenaient sur le même sol, mais avaient donné naissance à une forme d'humus différente, est un exemple caractéristique du pouvoir différent qu'ont les végétations pour provoquer une formation de tourbe.

Le rôle que les plantes arbustives citées jouent dans la formation de la tourbe par leur système de racines superficiel, est sans aucun doute double ; en ce sens, qu'en partie, la masse de déchets est liée en un épais tissu de ramifications de racines, en partie, la croûte terrestre est fortement desséchée et par cela même rendue habitable à un degré restreint pour la faune terrestre qui provoque la formation de l'humus. En outre, on ne doit pourtant pas oublier les formes de tourbe dont on a parlé dans les forêts de chênes et les prairies salées. Les premières sont des dépôts sur des emplacements qui comptent parmi les plus secs de notre pays, les dernières forment des amoncellements aux places où les organismes animaux producteurs de la tourbe (*mullbildende Thierleben*), ont été tenus éloignés par des facteurs autres que la sécheresse, ainsi que nous le verrons plus tard.

Enfin, il est hors de doute que les mycéliums jouent un rôle très prépondérant dans la formation de la tourbe et contribuent à un haut degré à donner à la couche son épaisseur et sa ténacité. Nous avons auparavant appelé l'attention sur la signification extraordinairement importante qui doit être attribuée, à cet égard, aux fils de mycéliums bruns et noirs, lentement destructibles, de formes analogues aux cladospores ; mais à cela s'ajoute encore une armée de mycéliums, d'autres champignons saprophytes, dont le genre d'existence est presque inconnu, dont l'apparition en grande masse fait pressentir, en général, la grande importance et dont l'influence, au point de vue de la cimentation et de l'épaisseur qu'ils donnent à la masse de tourbe, ne peut être mise en doute. Ces tissus épais et tenaces de champignons manquent complètement dans le terreau à empreinte nette, ou n'apparaissent que sporadiquement et n'ont pas le pouvoir de donner de la cohérence à la superficie du sol. Le thallus mousseux et le tissu d'autres végétaux inférieurs jouent le même rôle que les mycéliums dans la croûte terrestre.

On a déjà démontré dans la première partie de ce travail, pour la forêt de hêtres, que les propriétés inégales des sols de terreau et de tourbe prêtent souvent à la végétation une forme différente, en ce sens qu'elles donnent naissance à des flores locales absolument diverses. Cette différence s'observe aussi dans la forêt de chênes, où de

misérables parties de tourbes ne portent pas la magnifique végétation de plantes à fleurs du sol de terreau et se distinguent surtout par une végétation d'airelle myrtille à côté du *Trientalis europæa*, du *Majanthemum bifolium* et de la *Potentilla Tormentilla* et du *Melampyrum pratense* qui se rencontrent plus rarement. Dans les landes, la différence apparaît moins forte, parce que la bruyère, prédominante, s'étend aussi bien sur la tourbe que sur le terreau ; un examen plus approfondi montrera pourtant que les lichens apparaissent rarement sur le terreau ou manquent complètement et que la camarine noire (*Empetrum nigrum*), ou bien ne se trouve pas sur les landes en forme de terreau, ou tout au moins n'y joue pas à beaucoup près le même rôle que sur l'ancienne croûte de landes. Au contraire, les espèces d'hypnum, rares sur les anciennes landes, se trouvent souvent en grande quantité sur le terreau de landes.

Les différences dans la flore sont facilement compréhensibles, si l'on se rappelle les variétés bien tranchées de la nature de la croûte terrestre, chez les deux formes d'humus. On a déjà parlé de la nature chimique différente du sol, qui est facile à comprendre ; mais il ne serait pas sans intérêt d'invoquer pour cela, en témoignage, l'influence exercée sur le caractère de la flore par la consistance différente des deux formes de sol même et ajouter que des conditions, auxquelles on pensait ne devoir attribuer de signification que pour le développement de la vie animale, suffisent aussi, en elles-mêmes et pour elles-mêmes, à exercer une influence importante sur la croissance végétale.

La croissance végétale dans les parties des dunes, des landes et des sables nus correspondants offre un intéressant exemple de ce fait que la flore d'un sol, d'après sa consistance, sans qu'il existe d'ailleurs aucune autre différence dans la nature minéralogique, peut être différente. Sur les parties sableuses dénudées par le vent, la première plante qui lie la superficie est une petite mousse (*Polytrichum piliferum Schrebr.*[1]), dont les pointes brun verdâtre isolées s'élèvent

1. La tourbe de landes, qui n'a pas été travaillée à la charrue, se couvre aussi, quand elle a été bien appropriée (*gelegen*) pendant un certain temps, d'une petite mousse, qui apparaît en petits amas isolés, ordinairement le *Polytr. juniperinum Hedw.* (déterminé par G. Rosenberg).

de quelques millimètres au-dessus de la superficie, tandis que son thallus forme dans le sol un tissu si épais qu'il se laisse préparer comme un fascicule diminutif jaunâtre d'arbre à coton. Si la surface est affermie de cette façon, alors s'installent le *Thymian,* qui forme des tas isolés, et plus tard l'alisier blanc et l'arbrisseau de camarine noire, jusqu'à ce qu'enfin apparaisse la bruyère. Dans les dunes amoncelées par le vent, on ne voit, au contraire, au commencement aucune de ces formes de plantes ; le grand *Sandgrass* (*Psanma arenaria*) est ici le prédécesseur de la végétation ; si l'affermissement a commencé, le *Sandweide* (*Salix repens*) arrive ensuite, le sol se couvre souvent de mousse, et alors apparaissent les bosquets d'alisier blanc et de camarine noire, avec leurs longues vrilles. Ces deux formes de végétation, très différentes au début, se transforment peu à peu dans la végétation de bruyères qui recouvre toute la surface, quand le sol a atteint la même consistance aux deux places.

Un exemple de l'influence que peuvent exercer sur la flore les conditions qui contribuent tout d'abord au développement de la faune du sol, nous est offert par les prairies salées dont on a parlé, quoiqu'en même temps la quantité différente de sel qui existe dans le sol intervienne incontestablement comme moment déterminant. Pourtant, cette différence peut ne pas être d'une grande importance, car des flores différentes se trouvent quelquefois à une distance de peu de toises et avec une différence dans le niveau de moins d'un pied (0m,3138). L'illustre botaniste, Mlle C. Rosenberg, avec laquelle j'ai étudié ces emplacements, a rédigé, sur ma demande, un inventaire de cette flore, auquel est empruntée la classification suivante que je donne en abrégé.

A. Sur les prairies salées plus anciennes, placées un peu plus haut et rarement ou plus rarement inondées, dont le sol est recouvert d'une couche brun-clair de tourbe, d'une épaisseur de 6 à 8 pouces (0m,1569 à 0m,2092), se trouvent :

a) Sur les places humides :

Principalement :

Triglochin maritimum L.	*Glyceria maritima L.*
Agrostis alba L., v. *maritima Mey.*	*Glyceria distans Wahlb.*

Festuca rubra L.
Plantago maritima L.
Odontites littoralis Fr.
Lepigonum marinum Wahlb.
Lepigonum leiospermum Kindb.
Glaux maritima L.
Trifolium minus Sm.

Plus loin :

Erythræa linarifolia Pers.
Erythræa pulchella Fr.
Eleocharis uniglumis Lk.
Artemisia maritima L.
Armeria vulgaris Willd.
Potentilla anserina L. etc.

b) Sur les places un peu plus élevées et plus sèches :

Principalement :

Potentilla anserina L.
Trifolium fragiferum L.
Trifolium repens, etc.

Plus loin :

Plantago major L. β *minima DC.*
Plantago lanceolata L. β *eriophyllum Dcne* etc.

c) Sur de nombreux tas de fourmis de ces prairies :

Principalement :

Agrostis alba L.
Festuca rubra L.
Sagina stricta β *maritima Fr.*
Sagina procumbens L.
Cerastium vulgatum L.
Armeria vulgaris Willd.

Plus loin :

Medicago lupulina L.
Trifolium minus L.
Nardus stricta L.
Rumex Acetosella L.
Stellaria graminea L.
Plantago lanceolata L. etc.

B. Sur le bord des côtes recouvert de terreau, avec de nombreux excréments de vers de terre, qui n'est pas tout à fait protégé contre l'inondation de l'eau de mer, quoique celle-ci arrive plus rarement, qui se trouve au voisinage immédiat de l'emplacement en question et est insensiblement plus élevé, croissent :

Principalement :

Holcus lanatus L.
Cynosurus cristatus L.
Plantago lanceolata L.
Plantago major L.
Trifolium repens L.
Trifolium procumbens L.
Trifolium pratense L.
Achillea millefolium L.
Sagina nodosa Torr. et Gray.
Brunella vulgaris, Manch.
Lotus corniculatus L.
Arenaria serpyllifolia L.

Plus loin :

Potentilla anserina L.
Potentilla repens L.
Bellis perennis L.
Trifolium fragiferum L.

Trifolium minus Sm.
Medicago lupulina L.
Inula salicina L.
Rhinanthus minor Ehrh.
Briza media L.
Agrostis alba L.
Agrostis vulgaris With.
Linum catharticum L.
Rumex Acetosa L.
Gentiana Amarella L.
Bromus mollis L.
Ranunculus acris L.
Stellaria graminea L.
Achillea Ptarmica L.
Ononis repens L. etc.

Comme on le voit, des 31 plantes données dans la précédente liste, qui forment la riche flore des parties en forme de terreau, 7 seulement apparaissent assez généralement sur les prairies salées, et parmi celles-là, 3 seulement prédominent sur les tas de fourmis (*Ameisenhügel*) dont le sol forme, dans une certaine mesure, le passage au terreau. Mais si l'on tient compte seulement des espèces qui se rencontrent en plus grande quantité, qui donnent à la couverture végétale son caractère principal et qui sont désignées dans cette nomenclature comme existant principalement sur les emplacements en question, on verra qu'aucune de ces plantes n'est commune aux deux: Comme on l'a fait remarquer plus haut, le sol proprement dit (*eigentlich*) est ici toujours du sable de mer, et on peut à peine émettre un doute sur ce fait que le développement de la vie végétale et animale est la cause la plus importante des différences signalées dans la flore, sur le caractère de la superficie du sol.

Les animaux. — Dans la première partie de ce travail, on a appelé l'attention sur ce fait que le terreau, d'après sa structure, ses éléments fins et la vie animale qui se meut en lui, doit en plus grande partie à cette dernière ses propriétés les plus marquantes et ses particularités les plus importantes. Le grand nombre de recherches poursuivies que j'avais eu l'occasion de faire dans le laps de six années écoulées depuis la publication de la première série d'observations, et qui s'étendaient sur la plus grande partie des principaux emplacements de notre pays, dont la superficie du sol était naturelle, ont confirmé de la façon la plus essentielle les interprétations communiquées autrefois sur la signification de la vie animale pour la superficie de la croûte du sol.

De toutes les formes que revêt la vie animale, ce sont, comme on doit s'en souvenir, les vers de terre qui ont la plus grande influence

sur la nature de la croûte du sol et il a été reconnu qu'ils sont liés d'une façon également constante aux sols de terreau dans les forêts de chênes, les landes et les forêts de hêtres.

Sous la broussaille épaisse qui recouvre le fond des forêts de chênes sur de bon sol, les vers de terre semblent particulièrement trouver leur champ de bataille (*Tummelplatz*). On découvre clairement que la croûte du sol consiste en excréments de vers de terre. La superficie sous la feuille est recouverte de la masse graveleuse d'excréments dont on a parlé plus haut, et par le creusage, la terre se montre parfaitement meuble, comme une terre de jardin bien travaillée.

Si l'on s'arrêtait seulement aux sols de la forêt de chênes sur de bon terrain, on pourrait, malgré tout ce qui a été exposé autrefois par l'auteur et d'autres explorateurs sur l'importance des vers de terre, émettre un doute sur les effets de leur activité. Mais une étude de leur apparition dans les contrées de landes jütlandaises jette, à ce qu'il me semble, une lumière décisive sur ce point.

Partout où la superficie du sol est en forme de terreau, où la végétation consiste en plantes caractéristiques du terreau, on trouvera, par une observation plus minutieuse, même là où le sol consiste en sable extraordinairement maigre ou fin, la superficie composée d'excréments de vers de terre, en partie frais et en partie à différents degrés de dissolution. Il n'est pas difficile, en général, de trouver les vers par le creusage et je n'ai examiné aucun emplacement dans les forêts de chênes avec du sol de terreau sans trouver de vers de terre. Il y en a trois formes principales décrites auparavant dans les forêts de hêtres, à savoir : le petit *Lumbricus purpureus Eisen,* qui se tient surtout dans la couverture et dans les couches tout à fait superficielles du sol, mais qui pénètre difficilement dans les profondeurs et n'a pas de galeries stables ; puis l'*Allobophora turgida,* qui pénètre en fouillant le terrain supérieur et n'apparaît pas régulièrement à la superficie, et enfin une grande espèce de lombric qui a des passages déterminés (fixes) et qui se tient la nuit ou pendant les journées de pluie sombres à la superficie. Ici, dans les maigres contrées du Jütland, le grand *Lumbricus terrestris* ne représente pas, comme dans les forêts de hêtres des îles sur de bon sol, cette

partie de la famille des vers de terre, dans les derniers restes des forêts de chênes des régions de landes, mais bien le *Lumbricus rubellus,* un peu plus petit. Les petites formes d'*Enchytreus,* qui apparaissent souvent en grande masse et participent à l'œuvre de mélange, manquent aussi peu dans les emplacements dont on parle ici que dans les forêts de hêtres.

Mais aussi, sous les bosquets isolés de chênes à croissance rabougrie dans les landes, on trouve le ver de terre partout où le sol est en forme de terreau. Un pareil petit bosquet isolé, dont la hauteur s'élève souvent à 2 pieds ($0^m,6277$) et dont le diamètre varie entre 4 et 5 pieds ($1^m,255$ à $1^m,569$), a dans le terreau sa population de vers de terre, et, en dépit de son étendue restreinte, représente une oasis forestière parfaite dans le désert de la lande. Dans la plupart des touffes que j'ai examinées, j'ai trouvé trois sortes de vers de terre, même dans le *Tykskov Krat,* bas placé. Mais çà et là manque l'un ou l'autre des membres de la famille. Ainsi, dans les broussailles de chênes que j'ai examinées dans le boqueteau de Skarrild, je n'ai trouvé que le petit *Lumbricus purpureus ;* mais ici j'aurais pu, rien que d'après l'examen de la superficie du sol, prévoir avec certitude que la masse graveleuse du sol montrait une structure beaucoup plus fine et plus homogène que d'ordinaire, et consistait en fait presque exclusivement en excréments de cette petite forme mélangés avec du sable.

Les galeries souvent très rapides, qui se trouvaient à la lisière ou au bord d'un *Krattbusch* dans la nature du sol, marquaient aussi les limites de l'existence des vers de terre ; dans les sols de landes recouverts de tourbe, je n'ai trouvé aussi qu'un seul ver de terre. Au contraire, j'ai rencontré deux fois, dans la superficie des couches de tourbe qui existent çà et là dans les forêts de chênes, un seul petit ver ; seulement les deux exemplaires appartenaient aux petites formes qui vivent à la superficie et jouent, en général, un autre rôle que les espèces qu'on a nommées plus haut [1].

---

1. Outre le *Lumbricus purpureus,* qui se tient principalement sur la superficie, il existe plusieurs sortes rouge-brun d'autres espèces, particulièrement le genre *Allophobora,* qui vivent de bois à moitié pourri et de feuilles ; on les trouve dans les

Quoique les hypothèses émises plus haut signifient que les vers de terre ont pu se tenir dans les derniers restes des anciennes forêts de landes du Jütland sur sol sableux, qu'un reste aussi modeste qu'un bosquet de chênes à croissance rabougrie suffit pour former un emplacement convenable pour eux et que l'activité de ces animaux conditionne la formation du terreau proprement dit, ces conclusions recevraient une confirmation de grande valeur, s'il était possible de trouver sur les landes mêmes des lignes telles que, sans être protégées par la végétation forestière, elles offrissent cependant des conditions favorables pour l'existence d'une population de vers de terre et pussent produire par leur travail le même résultat que dans les forêts. De tels emplacements se trouvent, ainsi qu'on l'a déjà mentionné, en réalité dans les régions de landes du Jütland moyen, et l'auteur a trouvé sur toutes les surfaces de landes en forme de terreau décrites plus haut, la croûte terrestre peuplée par les trois formes de vers en question.

Mais ces emplacements ont sans aucun doute, comme circonstance commune, que la formation de landes est ici, comme on l'a déjà indiqué, d'origine relativement tardive ; et la conclusion, facile à concevoir, est que les vers de terre, même après la disparition des forêts, peuvent se maintenir encore plus longtemps sur certaines lignes plus favorables et peuvent conserver le terreau par leur travail poursuivi.

On a mentionné plus haut que la taupe suit, en général, les vers de terre. Aussi, dans les contrées de landes jütlandaises, on peut faire cette observation et même sur le sol de bruyère en forme de terreau (par exemple sur la lande de *Finderup*), et un observateur de landes expérimenté peut constater ce phénomène au plus haut point frappant que les taupinières se trouvent dans la bruyère ; elles sont un indice certain que le sol est recouvert de terreau et labouré intimement par les vers de terre.

Pour l'explication plus complète de l'apparition des vers de

---

chandeliers (*Baumstumpf*) et aussi bien au haut des arbres dans les branches pourries et analogues, et il semble, d'après cela, qu'ils n'ont pas besoin de manger (*verschlingen*) la terre pour digérer leur nourriture.

terre et de leur rapport avec la nature de la croûte terrestre, on a cité quelques hypothèses, faites sur des emplacements d'espèce tout à fait différente de celle de ceux dont on a parlé.

Dans les contrées de landes jütlandaises, particulièrement dans les derniers temps, avec le concours de la Société de culture des landes (*Haidecultur-Gesellschaft*), des prairies ont été créées en refoulant l'eau des ruisseaux et en l'amenant sur des surfaces recouvertes de tourbe de landes ordinaire. Déjà, un an après le commencement de l'irrigation, la bruyère périt lentement, et, environ trois ans après, fut remplacée par une jolie couverture de gazon. Si l'on examine le sol d'une telle prairie de nouvelle formation, on remarque que l'ancienne croûte ferme de lande a disparu et s'est transformée parfois en un terreau un peu bourbeux, d'une épaisseur d'un à deux pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0523$), ou a été remplacée par lui. Ce terreau est le séjour principal pour les racines de la végétation et recouvre, souvent avec une délimitation bien tranchée, le sable maigre et en partie recouvert de végétation. Cette couche de terreau humide renferme une riche population de vers de terre, là où peu d'années auparavant il n'existait aucun de leurs représentants, et la transformation de la tourbe en terreau a pris ainsi naissance en même temps que s'est faite l'immigration de ces animaux. Dans les prairies irriguées sur *Hesselvig*, dans le *Kirchspiel Arnborg*, où j'ai eu l'occasion de faire cette observation, j'ai recueilli moi-même, en partie, une grande quantité de vers et l'autre partie m'a été remise par l'ingénieur Christensen. Ces vers appartenaient, en partie, à l'*Allobophora turgida*, qui se trouve ordinairement dans le sol en forme de terreau des landes, en partie et principalement à une plus petite espèce qui paraît être particulière aux emplacements de cette sorte, et que je n'avais jusque-là jamais trouvée dans les régions de landes[1].

Les observations qu'on peut faire sur l'apparition des vers de terre sur les prairies salées semblent compléter d'une façon instructive celles citées plus haut. Dans les prairies salées mentionnées plus

1. Cette espèce est une plus petite forme d'*Allophobora* fortement colorée qui se rapproche beaucoup de l'*A. arborea Eisen*, et ce n'est pas la même espèce.

haut, la tourbe de prairie qui s'y trouve est tout à fait dépourvue de ces animaux, tandis qu'au contraire ils se rencontrent en grande masse aussi bien dans le sol en forme de terreau des places exceptionnellement atteintes par les hautes eaux, que dans les anciennes surfaces endiguées, dans lesquelles la tourbe de prairies a été transformée peu à peu en terreau. Ici aussi, la formation du terreau et l'apparition des vers de terre sont des phénomènes concomitants; le sol salé ne se recouvre pas de terreau, mais il est soit mouillé, soit recouvert de tourbe, même lorsqu'il est endigué, et il ne s'y trouve pas de vers de terre ; ils semblent ne pas supporter l'eau salée [1] et le propriétaire Hofman-Bang m'a communiqué que chaque fois que l'eau, s'élevant à une hauteur inaccoutumée, inonde le champ et le sol de prairies en forme de terreau, la superficie est parsemée de vers de terre morts, quand l'eau se retire des parties submergées. Il me semble que la conclusion irréfutable et juste de ce fait est que là où le ver de terre ne peut pas vivre, le terreau proprement dit manque.

Enfin, il faut encore mentionner une observation faite sur une troisième forme de prairies, qui jettera également une certaine lumière sur les relations des vers de terre avec la végétation. Transversalement à un marais tourbeux dans la forêt de Folehave dans le nord de Seeland, un fossé est disposé pour la conduite de l'eau. Sur un des côtés de cette ligne, créée par l'art, un peuplement d'aunes blancs et d'autres arbres exploité en taillis, forme un épais boqueteau en bel état de croissance ; sur l'autre côté, le terrain est défriché depuis une époque antérieure à l'âge de l'homme et utilisé comme sol de prairie. La prairie, ainsi obtenue, est maintenant mauvaise ; de grandes places sont seulement recouvertes d'une végétation misérable de mousse et d'un petit nombre d'arbres isolés qui paraissent s'étioler. Le sol, sur les deux côtés du fossé, paraît être de la même nature, mais dans la partie sur laquelle croît la forêt, se trouve une riche population de vers de terre, dont les excréments recouvrent la superficie sous la feuille, tandis que dans les mauvaises parties de la

1. Darwin a dit aussi, dans *The formation of vegetable mould*, que l'eau de mer tuait facilement les vers de terre.

prairie, je n'ai pu trouver aucun de ces vers. Dans un été humide, je fis creuser un certain nombre de trous grands et profonds aux deux côtés du fossé, et ces trous se remplirent bientôt entièrement d'eau. Après un laps de huit jours, gisaient, du côté boisé du fossé sur le sol de ces petits bassins, une quantité de vers noyés, mais pas un seul dans les trous de l'autre côté ; ce qui devait renforcer mon opinion que ces animaux ou bien n'existent pas du tout ici, ou seulement en un nombre très restreint.

S'il doit être admis comme indubitable, d'après la structure de la superficie du sol et d'après toutes les explications d'autrefois, que le ver de terre est un facteur principal pour la formation de l'humus poreux, il y a cependant intérêt à rechercher si d'autres espèces d'animaux ne jouent pas un rôle essentiel à côté des vers de terre. Il est à peine possible de trouver, pour répondre à cette question, un emplacement meilleur que la petite oasis de terreau sous un *Krattbusch* isolé sur la lande, parce qu'ici beaucoup d'autres facteurs troublants qui se trouvent autre part échappent à la recherche.

Lorsqu'on écarte les branches d'une pareille petite touffe de chênes, on découvre aussitôt à l'intérieur de l'ombrelle une vie animale beaucoup plus active qu'à l'extérieur. Une quantité d'insectes de différents ordres bourdonnent entre les branches, sur la terre abonde une quantité de fourmis et il se trouve là de nombreux scarabées (coléoptères, *Käfer*), des araignées, des orthoptères, des landisopodes et myriapodes, parmi lesquels souvent beaucoup de scolopendres, les ennemis enragés des vers de terre. Le terreau lui-même donne asile, non seulement aux vers de terre, à une vie animale relativement riche, notamment en larves d'insectes, mais, quoique mon attention fût dirigée tout particulièrement vers la question de savoir si des formes d'animaux autres que les vers de terre ne participaient pas essentiellement à la formation du terreau sur un tel emplacement, je n'ai pourtant trouvé ni les individus dans un nombre tel, ni les formes d'une espèce telle qu'il pût être question de comparer seulement approximativement le travail qu'ils exécutaient, pour mélanger les particules du sol, avec celui des vers de terre. Mais, d'autre part, on ne doit pourtant pas ne pas tenir compte que ces derniers étaient un peu aidés dans leur activité

pour l'ameublissement du sol par les larves des petites espèces de hannetons, de larves d'*Elater-Diptera,* etc., qui se présentent souvent dans le terreau en nombre assez considérable, et que les fourmis, qui apparaissent en nombre vraiment considérable, contribuent également à maintenir la superficie poreuse.

La lande, en dehors de la broussaille, n'est pas, à la vérité, un désert, si l'on entend par là qu'elle doit être dépourvue de vie animale ; par une journée d'été chaude et silencieuse, on entend, dans la bruyère, le bourdonnement des formes de *Diptera* et le bouillonnement (*Zischen*) des orthoptères et autres insectes ; mais, autant que je l'ai pu remarquer, la lande est pourtant beaucoup plus pauvre, aussi bien en espèces qu'en individus, que la broussaille et que, pour ainsi dire, aucune forme d'animaux d'organisation plus élevée ne paraît se tenir dans le sol même.

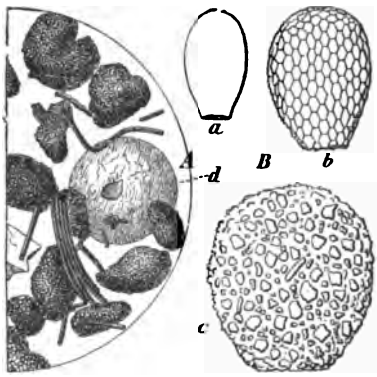


Fig. 15. — A $\frac{110}{1}$ les déchets organiques les plus fins dans la tourbe de hêtre (*Teglstruper Gehege*), excréments animaux, fragments d'un mycélium noir brun et *d* l'écorce d'une « Arcella ». — B $\frac{180}{1}$ Écorces de *a* « Gromia » (?), *b* « Euglypha » et *c* « Difflugia », recouvertes de corps étrangers.

D'autre part, la tourbe donne asile à une faune d'êtres existant à la partie la plus basse, qui ordinairement apparaissent en bandes si innombrables, que chaque particule de tourbe, grosse comme une tête d'épingle, renferme un certain nombre d'individus ou tout au moins leurs écailles. Ce sont des formes appartenant au groupe des *Monothalamies,* dans la classe des *Rhizopodes,* et qui doivent être comptées comme appartenant principalement aux espèces *Arcella Ehrenberg, Difflugia Ehrenberg p. p.,* plus loin *Gromia Dujardin* et *Euglypha Dujardin ;* ou comme proches parentes de celles-ci au moins, autant qu'on peut les déterminer d'après les écorces. Enfin, je n'ai eu que rarement l'occasion d'étudier les animaux qui d'ailleurs se trouvent dans les parties les plus basses, représentent essentiellement une cellule unique et habitent dans ces gousses-écales.

Quand je me suis efforcé de trouver ce qui constituait l'aliment des vers de terre dans la terre qu'ils engloutissaient, j'ai dirigé mon attention sur les rhizopodes, car il m'était bientôt apparu clairement que les mycéliums, facilement décomposables, existant dans le terreau, se trouvent à peine en masse assez grande pour pouvoir fournir, à eux seuls, à ces animaux relativement grands, un aliment azoté suffisant. J'avais donc d'autant plus l'occasion de rechercher les monères en question que, d'après les recherches d'Ehrenberg[1], Post[2], Greef[3], Schneider[4] et autres, l'existence dans la terre de pareils petits êtres, dont la masse principale consiste en animaux aquatiques, était connue.

A ma grande surprise, je ne trouvai pourtant aucune *monothalamie* dans le terreau proprement dit sur un sol haut placé, tandis qu'au contraire, comme on l'a mentionné, elles se présentent tout aussi bien sur la lande que dans la forêt en énorme quantité et n'ont jamais manqué dans aucun des échantillons de tourbe que j'ai examinés. Il est vraisemblable, d'après les données d'autres auteurs, que des rhizopodes existent aussi dans le terreau, au moins dans la couverture sur le sol forestier, mais, d'après mes recherches, ce devait être principalement des formes d'amœbes des rhizopodes nus (*Athalamia*), qui habitent ici[5], car je n'ai jamais trouvé, malgré un examen d'échantillons de terreau provenant d'une série véritablement considérable d'emplacements forestiers et de landes, des enveloppes de *monothalamies* dans le terreau typique, qui n'était pas déposé à des places basses. Aussi loin que se sont étendues mes études, je dois admettre, à ce point de vue, que les *monothalamies* avec leurs formes différentes et particulièrement avec leurs innombrables troupes d'individus sur les sols haut placés, sont caractéris-

1. Ehrenberg, *Mikrogeologie*, Leipzig, 1854 ; notamment tableau XXXIV.

2. H. von Post, *Nutidens Koprogena Jordbildningar*, p. 41 (*Sv. Vetensk. Akad. Handl.*, t. IV, 1862).

3. R. Greef, *Ueber einige in der Erde lebenden Amœben und andere Rhizopoden* (*Sur quelques amœbes et autres rhizopodes vivant dans la terre. Arch. f. mikr. Anat.*, t. II, Bonn, 1866, p. 299).

4. Schneider, *Sur quelques Rhizopodes terricoles* (*Comptes rendus*, t. LXXXVI, 1878, p. 1557).

5. Par exemple, parente de l'*Amœba terricola*, de Greef.

tiques de la forme humique tourbeuse [1]. Celle-ci doit d'ailleurs être aussi excellemment propre pour elle ; car, dans les périodes où l'eau pénètre à travers le sol, celui-ci offrira un emplacement semblable à celui du limon, dans lequel beaucoup d'autres formes d'eau parentes séjournent, et, quand il se dessèche, ces petits êtres ont en partie la faculté de s'enkyster (*sich encystiren*), en partie de se dessécher, de sorte qu'ils passent le temps jusqu'à la plus prochaine période d'humidité dans un état d'engourdissement.

Outre les rhizopodes, se trouvent de plus dans la tourbe de grandes quantités de formes de vers pour la plupart microscopiques, particulièrement du groupe des Anguillules, qui appartiennent à l'espèce des nématodes.

Cette vie animale microscopique contribue bien, conjointement avec les champignons, à la destruction des restes organiques, mais ne peut, à aucun degré essentiel, amoindrir l'épaisseur et la ténacité de la masse. Si cependant on tient compte de ses innombrables troupes, il est vraisemblable qu'elle joue un rôle important en cimentant l'azote de la tourbe. Ces animaux sont peut-être les porteurs (*Träger*) d'une grande masse des combinaisons azotées qu'on trouve dans la tourbe et une méfiance doit s'imposer, dans la représentation de cette faune terrestre, contre la signification d'une analyse chimique exclusive, comme explication de la nature de la croûte terrestre qui porte la végétation.

1. Il est, cela va sans dire, très difficile d'établir l'absence de tels petits êtres dans un sol, en partie parce qu'on ne peut soumettre à un examen que de très petites quantités, en partie parce que les éléments les plus fins du sol de terreau offrent pour la recherche microscopique des difficultés relativement grandes. Il doit donc pour cela être allégué ici que les observations ont été faites sur une série d'échantillons de terre, provenant surtout des forêts naturelles de chênes dans les différentes régions du pays (Sud de Seeland, Lolland, Jütland) et à la vérité aussi bien des sols argileux que des sols sableux. Les échantillons ont été prélevés dans la couche graveleuse superficielle du sol, gisant immédiatement au-dessous de la couverture et la recherche fut dirigée en partie sur ces matériaux mêmes et en partie sur la fine terre humique, limonée avec soin. On ne découvrit dans cette recherche aucun individu des formes de *Monothalamies* qui existent en quantités énormes dans la tourbe. Ehrenberg, tout aussi bien que Post, admet à la vérité que les genres *Difflugia* et *Arcella* existent dans l'humus en grandes masses. On ne sait cependant pas exactement de quelles formes d'humus il s'agit, et dans le travail d'Ehrenberg, il est difficile de distinguer entre l'humus réel du sol sec et les formations d'eau douce.

Transformations physiques et chimiques du sol.

Si, en se basant sur la série d'observations communiquées plus haut, on est arrivé à la supposition que le caractère propre de la croûte terrestre dans les landes jütlandaises, sur un grand nombre d'étendues considérables, est dû à une transformation de la forme particulière aux restes des anciennes forêts de chênes qui se trouvent dans ces régions, aussi bien que cette transformation extraordinairement significative doit, à un degré essentiel, son origine aux changements dans la vie organique des emplacements, alors la plus prochaine phase de l'examen devra être la recherche faite en vue d'arriver à la connaissance du processus même qui, du terreau meuble des forêts sur le sol sableux, uniformément coloré en jaune d'ocre, a produit la couche bleu-noir de la lande sur des formations souvent puissantes de sable plombifère et d'*Ortstein*.

La première étude conduit le chercheur à une telle quantité de procédés hétérogènes, que celui qui ne désire pas remplacer l'observation et l'expérience par l'hypothèse est facilement découragé par la crainte de ne pouvoir suivre d'une façon exacte tous les membres distincts du phénomène. Mais, je crois pourtant que si l'on réfléchit d'une façon plus précise à l'organisation de la recherche, le courage se ranimera.

D'une part, il doit sans doute être convenu qu'il y a une grande troupe de facteurs qui participent, en chaque endroit, à la formation du caractère de la croûte terrestre. Ainsi, il ne peut exister aucun doute sur le fait que des organismes inconnus jouent vraisemblablement un grand rôle en différente masse et avec une activité d'un genre différent, que les conditions d'humidité de l'emplacement, l'inclinaison du terrain et avec cela la chaleur du sol, des différences dans le caractère minéralogique du sol, la quantité de terre fine et de grains du squelette exercent une influence considérable sur les procédés chimiques et physiques qui ont lieu à toute place et que ceux-ci peuvent être en eux-mêmes de caractère très complexe, surtout là où des matières humiques existent; un examen plus approfondi de la variété du phénomène n'engage donc pas à s'en occuper.

Mais, d'un autre côté, il me semble que la particularité essentielle et la plus fréquente de la formation de lande peut ne pas être le résultat d'une action réciproque, confuse, de facteurs variés. Si l'on pense que les landes jütlandaises dans leur grande uniformité recouvrent, sur environ cent milles carrés, des hauteurs et des vallées de la presqu'île, des pentes orientales et occidentales, des surfaces basses et hautes et des chaînes de montagnes escarpées, et qu'elles sont en relation avec les formations tout à fait analogues, seulement encore plus étendues de la bouche du Rhin jusqu'à la Russie et de la mer Baltique jusqu'aux chaînes de montagnes de l'Allemagne centrale, et qu'il se trouve vraisemblablement à beaucoup d'autres places, dans des régions à climat tempéré et froid, des formations tout à fait analogues avec des sols d'alluvion et de diluvium, on doit arriver nécessairement à conclure qu'il existe une nombreuse variété de facteurs dont l'action commune s'exerce à chaque endroit pour donner au sol de lande son caractère et qu'il y a pourtant quelques-uns d'entre eux qui peuvent exister communément partout, et doivent dominer si complètement les autres qu'ils déterminent le phénomène à un degré prépondérant. Cette considération encourage à une recherche dont le but serait de pénétrer au fond de l'être intime de la transformation, et la recherche doit, d'après cela, être dirigée sur des conditions de la nature de celles qui existent généralement là où la formation de lande s'accomplit.

Homogénéité du sol (*Konsistenz*). — Aussitôt qu'on quitte le bocqueteau de chênes avec son terreau meuble et qu'on pénètre dans la lande de bruyères, l'homogénéité du sol est autre. La surface de lande qui loge les vers de terre, repose encore sur un sol passablement meuble cédant encore facilement à la bêche ; mais si les vers de terre ont disparu, alors la tourbe tire sur le sol sa couverture de fil épaisse, devenant toujours plus épaisse et pendant que cette couche enserre le terrain, le sable riche en humus, originairement meuble, prend peu à peu une épaisseur et une fermeté plus grandes. Déjà, sur l'emplacement représenté par le tableau III, figure 3, le sous-sol se laisse couper en morceaux carrés comme du fromage et une partie ainsi découpée a la même cohérence qu'un herbage inculte (*Grassode*) ; mais, s'il existe auparavant là une couche de

tourbe, alors celle-ci peut atteindre une épaisseur très considérable. Je ne puis citer aucune meilleure preuve de la fermeté que des sols sableux meubles en eux-mêmes peuvent acquérir dans cette couche superficielle que celle fournie par une pareille tranche de terre, recouverte d'une végétation de bruyère sur une couche mince de tourbe, durcie par un desséchement complet à l'air et à arête vive comme une brique ordinaire. Ce morceau de terre se trouve parmi mes préparations et conserve encore maintenant, après un laps de six années, sa fermeté. Caractéristique et sans doute plein d'importance pour le passage de la superficie en forme de terreau de la forêt de chênes aux sols tourbeux de la lande, outre l'enserrement du sol par la couche de tourbe, est aussi le développement d'une grande épaisseur et d'une grande fermeté dans les couches superficielles. C'est à peine si l'on a émis un doute sur ce fait que ce sont surtout les racines de bruyères qui cimentent les particules de terre, mais à cela on peut encore ajouter que celles-ci forment encore un dépôt plus compact, lorsque les bandes de vers de terre, qui continuellement fouillent, creusent et ameublissent le sol, disparaissent.

Cela résulte des recherches faites dans les forêts de chênes se tenant sur un sol moins pauvre en argile et recouvert par d'anciennes formations de tourbe. Ici, l'on peut, à vrai dire, remarquer à certaines places que le sol sous cette couche tourbeuse, et même le sable plombifère est devenu si ferme qu'il se laisse à peine percer, quoique auparavant il appartînt à la partie supérieure du sous-sol meuble, bien mélangée et bien travaillée, qui à quelques places où les vers de terre sont encore restés, a conservé tout à fait son caractère typique de terre de jardin bien travaillée. C'est l'eau de la superficie qui, en s'infiltrant, produit un affaissement de la terre par limonage (*Schlämmung*) et resserre les intervalles que séparent les plus gros éléments des plus fins par le limon transporté par l'eau [1].

1. Ce procédé peut se démontrer facilement en entier par l'expérience suivante : Si l'on place la terre meuble dans un entonnoir cylindrique et qu'on verse de l'eau par-dessus, cette eau passe très rapidement au début à travers cette terre, puis plus lentement, et peu à peu, le dépôt des particules de terre peut être devenu tel, que la filtration exige un temps très long.

Conditions d'humidité du sol. — Il est vraisemblable en soi que le mouvement de l'eau doit subir des changements, suivant que la tourbe se développe, et on doit admettre aussi que l'homogénéité du sol se change et que ce rapport doit avoir une grande influence sur le caractère de l'humification. Mais pour pouvoir trouver l'explication de ce rapport par des observations directes, j'ai fait, avec l'assistance de MM. le professeur Tuxen et le garde-bois Borch, dans l'été de 1880, une série de recherches sur l'humidité dans le sol de landes nu et recouvert de tourbe. Nous avions l'intention de poursuivre ces déterminations dans l'année suivante ; mais malheureusement la série des recherches fut interrompue, si bien qu'il n'a été fait que des observations en quelque sorte valables pour une année. Au cas où l'on objecterait que cela est à peine suffisant pour un éclaircissement complet du rapport, les déterminations communiquées plus bas donneront des indications très caractéristiques.

Dans la plantation de Birkeback, au Sud de Herning, on examina un terrain dont la superficie est moyennement unie, passablement haut placée, où n'existe pas d'eau souterraine et qui renferme ce qu'on appelle sable nu (*Sandblösse*). La croûte de la lande a été ici emportée par le vent depuis beaucoup d'années, si le sable forme la superficie, tandis que les éléments de la croûte de la lande, du sable plombifère et de l'*Ortstein* ont été déposés à quelque distance dans les dunes (*Kytter*). Sur ces places dénudées commençaient à se montrer çà et là de petites touffes isolées de thym, de mousse et de bruyère, mais, en général, le sol était nu et le sous-sol dénudé. La lande qui entourait ces places était de caractère normal ; sa superficie était à peu près sur le même niveau que la superficie nue et les conditions du terrain tout à fait les mêmes.

Sur la lande et sur la surface de sable, on préleva à peu près tous les quatorze jours, de mai à octobre, un échantillon à une profondeur de 5 et demi à 8 pouces ($0^m,1438$ à $0^m,2092$) [c'est-à-dire à la place du sol correspondante à celle où la couche de sable plombifère se trouve dans la lande] et un autre échantillon à une profondeur de 24 à 29 pouces ($0^m,62769$ à $0^m,75846$).

On prélevait d'abord l'échantillon du sable plombifère de la lande ; la profondeur à laquelle on devait aller, pour arriver à la partie

typique de la couche, était chaque fois déterminante pour la profondeur à laquelle était retiré l'échantillon superficiel dans le sable nu. De la même façon, la profondeur dans la lande où il n'existait plus de traces distinctes de formation d'*Ortstein* était déterminante pour la profondeur à laquelle on devait obtenir un échantillon du sous-sol typique. Le prélèvement des échantillons se faisait de la façon suivante : la terre extraite du trou fraîchement ouvert était comprimée dans un vase hermétiquement fermé par un bouchon de verre graissé avec du suif. Tous ces verres étaient envoyés à Copenhague, et là, la quantité d'eau de chaque échantillon était déterminée par pesée, à l'état frais et après dessiccation à 100°.

Le tableau suivant donne les taux d'humidité moyenne obtenus dans une recherche de ces déterminations d'humidité dans les différentes couches de la terre.

ANNÉES D'OBSERVATIONS.	LANDE. — Profondeur		PLACES DE SABLE dénudées par le vent. — Profondeur	
	environ 6 pouces (0m,1569).	environ 26 pouces (0m,6800).	environ 6 pouces (0m,1569).	environ 26 pouces (0m,6800).
	P. 100.	P. 100.	P. 100.	P. 100.
1880. — 12 observations. . . .	7.71	5.32	3.10	3.61
1881. — 6 observations. . . .	7.32	5.26	2.71	2.87
Moyenne. — 18 observations . .	7.58	5.30	2.97	3.37

Il ressort de ces nombres qu'une différence vraiment considérable et constante dans l'humidité du sol existe sous la tourbe de lande et le sable nu (*Sandblösse*) ; certes, on peut admettre que la quantité d'eau dans la superficie est en général deux fois plus grande sur la tourbe que dans le sol nu à la même profondeur ; la différence dans le degré d'humidité de ces deux emplacements disparaît, à la vérité, avec la profondeur ; mais, même à une profondeur de deux pieds (0m,62770), la différence est encore importante.

L'étendue relativement modeste des observations et des particularités du sol des landes ne paraît pas permettre raisonnablement d'établir une comparaison plus proche entre les observations en

question et les résultats des recherches d'autres, et, à la vérité, d'autant moins qu'il ressort aussi bien directement des travaux de Johnstrup qu'indirectement de ceux d'Ebermayer et de Wollny sur cette circonstance, qu'une pareille entreprise est chose très difficile.

Ainsi, on remarquera que le sol de tourbe est, dans un été où les averses sont très abondantes, le plus humide sur la superficie, tandis que l'eau de pluie disparaît rapidement de la croûte terrestre sur le sol meuble, en partie, bien qu'à un degré restreint, par évaporation, en partie et à la vérité principalement par infiltration à de plus grandes profondeurs. Cette circonstance doit s'expliquer par ce fait que l'évaporation est ralentie à un haut degré par le sol sous la tourbe, aussi bien que l'eau de pluie doit être arrêtée dans sa pénétration dans les profondeurs d'une façon tout à fait considérable; car, sans cela, la différence entre le sable plombifère et le sous-sol n'aurait pu être ni si grande, ni constante, car l'éloignement des points sur lesquels avaient été prélevés les échantillons s'élevait seulement à environ 20 pouces ($0^m,52308$)[1]. Une observation de la quantité d'eau à une profondeur comprise entre 6 pouces ($0^m,1569$) et 26 pouces ($0^m,6800$), montre une différence beaucoup plus restreinte. Cette circonstance est sans doute due à ce que la terre rouge, à cause de son épaisseur et du pouvoir qu'ont les substances organiques qu'elle renferme d'aspirer l'eau, surtout quand celles-ci sont à l'état humide ou imbibées d'eau, n'est traversée que très lentement par l'eau. D'ailleurs, la terre rouge, sur le terrain où les échantillons ont été prélevés, n'était ni remarquablement puissante, ni ferme et n'opposait pas au creusement une résistance plus grande que le sous-sol sableux lui-même. On peut

1. Une recherche antérieure faite par le professeur Tuxen (voyez *Tidsskrift f. Skovbr.*, t. I, p. 284) sur des échantillons de la même lande, montrait que la force de retenir l'eau (*Wasserhaltende Kraft*) était à peu près la même dans le sable plombifère et le sous-sol, c'est-à-dire 30 p. 100, tandis que dans la terre rouge elle était presque deux fois plus grande. Comme, en outre, la quantité des particules d'humus mélangées dans le sable plombifère est petite, la différence dans l'humidité des deux couches examinées peut à peine être attribuée à une cause autre que la différence dans l'évaporation et la rapidité du transport par l'eau (*Wasserbewegung*).

donc conclure de là que des couches épaisses et fermes d'*Ortstein*, en vertu de leur pouvoir de retenir l'eau, doivent amener une véritable transformation du terrain en marais.

Pour pousser plus loin les conclusions, le matériel est à peine suffisant, mais, avec quelques restrictions, on peut pourtant, par la comparaison des seules déterminations d'humidité avec les observations sur la quantité de pluie recueillie pendant la même année à la Station météorologique de *Birbebāk*, située à une distance de 2 kilomètres, obtenir la représentation suivante sur le mouvement de l'eau dans le sol.

Tandis que de fortes averses pénètrent si vite dans le sol sableux nu que le sous-sol déjà après deux jours est assez sec à une profondeur de 6 pouces (0^m,1569), mais contient beaucoup d'eau à 2 pieds (0^m,6277) au-dessous de la superficie ; d'où il ressort que l'humidité met à peu près un temps aussi long pour traverser la tourbe d'une épaisseur de 3-4 pouces (0^m,0784-0^m,1046) que pour atteindre une profondeur de 2 pieds (0^m,6277) dans le sable, et il faut 14 jours environ pour qu'elle puisse pénétrer à travers la couche de terre rouge. (Observations de juin.) Dans les mois de printemps, la tourbe retient si bien l'humidité d'hiver que le sable plombifère, 6 pouces (0^m,1569) au-dessous de la superficie, même après un mois d'avril très sec, est tout aussi humide que le sol sableux nu à une profondeur de 26 pouces (0^m,6800). Une période plus longue avec de faibles pluies fréquentes, maintient la couche sous la tourbe si humide qu'elle est beaucoup plus mouillée que le sous-sol ; ces faibles chutes de pluie apportent une quantité d'eau inférieure à celle qui peut pénétrer à travers l'*Ortstein*. (Observations de juillet et d'août.) Immédiatement après une période automnale de sécheresse de plus de trois semaines, le sol revêtu de tourbe est, à une profondeur de 6 pouces (0^m,1569), tout aussi sec que le sol nu. (Observations d'août et de septembre.)

Ces observations montrent, à ce qu'il nous semble, malgré leur courte durée, qu'un passage d'un sol sableux meuble à une superficie ferme et revêtue de tourbe, avec une différenciation dans les couches superficielles, dans le sable plombifère et la terre rouge, entraîne avec lui une transformation énergique dans les conditions

d'humidité de la croûte terrestre, dont l'importance est si grande pour l'humification. Dans les années pluvieuses et particulièrement à l'époque humide de l'année, surtout dans les mois d'automne, le sol de landes est, en partie à cause du pouvoir qu'a la tourbe d'aspirer l'eau, en partie à cause de sa protection contre l'évaporation, et enfin, en partie à cause de l'impénétrabilité de la terre rouge, même sur le sol sableux le plus sec et le plus haut placé, très humide ou même mouillé ; au contraire, dans les périodes sèches où la tourbe, en vertu de sa couleur noire, est fortement chauffée et par suite fortement desséchée, la croûte terrestre sur la couche de terre rouge deviendra extraordinairement sèche, parce que l'hygroscopicité pourra à peine lui amener l'humidité du sous-sol. L'humidité considérable dans la plus grande partie de l'année, conjointement avec l'arrêt de l'accès de l'air dans les formations de tourbe proprement dites, produira un riche développement d'acides humiques et le fort desséchement périodique amènera, conjointement avec un manque presque complet du sable plombifère ou bases minérales, qui pourraient neutraliser les acides humiques, la formation de poussière d'humus et de charbon d'humus, parce que plusieurs des matières humiques solubles à l'origine deviennent très difficilement solubles par la dessiccation. De longues périodes de gelée doivent avoir vraisemblablement une action en quelque sorte semblable.

Il n'est pas d'ailleurs tout à fait exact de conclure d'une différence entre l'humidité de la croûte terrestre dans la lande et le sable nu, à la différence entre la quantité d'eau dans le terreau de la forêt de chênes et sous la tourbe de la lande ; seulement, premièrement il n'était pas possible de trouver un matériel suffisant pour se livrer à un examen du sol sous le bois de chênes à croissance rabougrie, et deuxièmement, cela ne me paraît pas nécessaire pour pouvoir appliquer les observations communiquées. On a, à vrai dire, le plein droit, d'après d'autres recherches [1], de tirer la conclusion que le sol

1. Voyez, par exemple, Marié Davy, *Annuaire météorologique de l'obs. phys. centr.* Paris, 1874, p. 286. — Wollny, *Des Einfluss der Pflanzendecke und Beschattung auf die physikalischen Eigenschaften und die Fruchtbarkeit des Bodens* (*l'Influence de la couverture végétale et de l'ombragement sur les propriétés physiques et la fertilité du sol.* Berlin, 1877, p. 135).

superficiel qui porte la végétation est encore plus sec que le sol nu, étant admis qu'il n'est pas recouvert d'une couche homogène de restes de plantes mortes et une pareille couche n'existe jamais dans la période de végétation dans les forêts de chênes avec sol sec. Les nombreuses recherches faites sur l'humidité de la terre sous différentes couvertures végétales amènent nécessairement à la conclusion qu'il s'ensuit une plus grande différence encore entre l'humidité dans les sols de tourbe et dans les sols de boqueteaux de chênes, qu'entre la quantité d'eau dans celui-ci et dans le sol nu. Notre conclusion, que le développement de la formation de tourbe produit une élévation importante dans l'humidité de la croûte terrestre, n'est pas atteinte pour cela par le manque indiqué dans la série d'observations. Le fait que l'augmentation de l'humidité est maxima là où le terrain est plat et où, en outre, un peu d'eau superficielle est amenée, où enfin il existe un écoulement défectueux ou un état élevé de l'eau souterraine, n'exige aucune démonstration et ici nous trouvons aussi un tel accroissement de la transformation en marais de la superficie qu'on ne peut tracer aucune limite entre la formation de tourbe de landes et la formation de tourbe marécageuse réelle (*Moortorfbildung*) ; les deux peuvent, comme nous l'avons vu dans les recherches de la forêt de Vindum, se présenter sous des formes tout à fait analogues et avec des transitions insaisissables.

D'après cela, nous pouvons tirer de ces observations la conclusion que la transformation du terreau en tourbe produit une fermeté et une compacité plus grande dans la croûte terrestre et souvent, pendant une grande partie de l'année, augmente l'humidité de celle-ci à un haut degré. Ces transformations agissent de telle sorte que l'échange des déchets organiques doit se poursuivre partiellement sans accès de l'air, et pour cela, prendre le caractère de la formation de tourbe avec un développement plus riche d'acides humiques, comme cela a été reconnu assez bien d'autres côtés [1] et suffisamment démontré par des analyses faites antérieurement [2].

---

1. Par exemple, Liebig, *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiolgie* (*la Chimie appliquée à l'Agriculture et à la Physiologie*), t. II, p. 137 et suiv.

2. Comparez, Première partie, pages 38, 39 et 115.

Limonage (Ausschlämmung) de la croûte terrestre. — Dans la première partie[1] de ce travail, il a été indiqué que la couche superficielle du sol perd peu à peu une partie de ses particules, ce qui doit être considéré comme parfaitement constaté par les déterminations de la quantité d'alumine à des profondeurs différentes, faites par Johnstrup, Girard, Orth et l'auteur lui-même. Aux facteurs avec lesquels on doit compter, quand on veut étudier les transformations dans le sol, s'ajoute également l'acte de limonage (*Abschwemmungsakt*).

Il ressort des recherches communiquées dans la littérature que ce procédé qui doit être attribué seulement à la force décomposante de l'eau, amoindrit la quantité d'alumine dans la croûte terrestre ; c'est en soi un moment important pour la compréhension de la nature des couches superficielles, et nous avons déjà plus haut, lorsque nous avons parlé des transformations du sol au point de vue de la densité et de la fermeté, indiqué un rapport dans lequel le transport de l'eau avait de l'importance pour l'état de la croûte du sol. Mais, pour les présentes études, l'influence du limonage sur la quantité de fer et le gisement des particules d'humus offre un intérêt particulier.

Le fer est, dans le sol argileux, si intimement lié à l'argile que ces deux corps doivent être atteints et entraînés de la même façon par le transport de l'eau. Sur 18 dosages de fer faits dans des sols forestiers argileux de six différents emplacements forestiers, à une profondeur différente, on a trouvé les teneurs moyennes indiquées dans le tableau suivant :

ÉLOIGNEMENT DE LA SUPERFICIE.		HYDRATE d'oxyde de fer.
Pouces.	Mètres.	
2,5	0,06538	1,1
5,0	0,13077	1,2
7,5	0,196155	1,5
10,0	0,26154	1,7
12,5	0,313848	1,8
15,0	0,39231	1,9

On voit par là que la quantité de fer croît de la superficie vers le

1. P. 70, 71 et 72.

bas uniformément, et, à la vérité, si vite qu'elle est à peu près moitié aussi grande dans la croûte du sol qu'à une profondeur d'environ un pied et demi ($0^m,3295$), là où elle atteint le quantum qu'on trouve ordinairement dans le sous-sol de nos pays argileux, d'environ 2 p. 100. Une comparaison de la teneur du sol en fer et en argile, comme l'indique le tableau IV, figure 1, démontrera que les transports de ces deux substances s'accompagnent l'un l'autre; la quantité d'argile, aussi bien que la quantité de fer, est sur ce tableau exprimée en rapport avec le quantum moyen de chacune de ces substances qui existe dans le sous-sol de notre sol forestier argileux et les lignes pleines représentent, sur la figure 1, les transports de l'argile et du fer dans un tel sol avec une superficie en forme de terreau. On voit que le transport est aussi uniforme qu'on peut l'attendre surtout de déterminations de ce genre, tandis qu'une différence essentielle et constante se produit aussitôt que le sol est recouvert de tourbe (les lignes ponctuées).

Plus loin se montre, dans les sols sableux très maigres (tabl. IV, fig. 2), une déviation évidente dans la direction des lignes (*a* et *a'*) qui indiquent le mouvement des deux substances en question sous la superficie recouverte de terreau. Doit-on, à la vérité, admettre qu'un peu de fer est aussi ici enlevé par limonage avec l'argile? La quantité de cette dernière substance est pourtant trop restreinte pour qu'aucune partie importante d'oxyde de fer puisse être liée à l'argile, mais doit être renfermée dans le sol indépendamment comme enveloppe des grains de sable. On pourrait penser qu'aussi cette partie du fer du sol est atteinte par les mouvements d'eau; mais je suis convaincu que ce n'est pas le cas. Aussi bien une observation attentive des conditions de structure du sable ferrugineux que le fait, qu'aussi loin que portent mes connaissances, jamais on n'a trouvé dans le sol des amoncellements qui puissent indiquer un limonage de cette substance, comme cela est le cas pour l'argile, parlent expressément contre l'hypothèse que l'eau de pluie, en s'infiltrant dans la terre, puisse embourber par limonage le fer, s'il n'est pas lié à l'alumine.

Nous pouvons résumer ces observations de la façon suivante : dans les sols naturels recouverts de terreau renfermant un peu d'alumine,

la quantité de cette substance, aussi bien que celle du fer, décroît uniformément et dans la même proportion du sous-sol jusqu'en haut, si bien que la croûte terrestre n'en contient pas moitié autant que le sous-sol à une profondeur de deux pieds ($0^m,6277$) et cet état doit être attribué à l'action limonante de l'eau.

Dans les sols très pauvres en argile, avec une superficie en forme de terreau, aussi bien que dans le terrain recouvert de tourbe, existe, au contraire, une différence importante dans le transport des substances en question ; c'est pourquoi nous devons admettre que d'autres causes, sur lesquelles nous reviendrons plus bas, ont opéré une limitation de la quantité de fer dans la superficie.

Le transport de l'eau doit aussi avoir une importance pour le gisement des matières humiques dans la croûte terrestre. Dans les forêts de chênes sur sol de terreau, les corps humiques sont, d'une façon perceptible à l'œil, déposés dans la superficie et leur quantité décroît uniformément avec la profondeur jusqu'à ce que toute trace visible de restes organiques disparaisse, ainsi que l'explique la figure 1 du tableau III. On peut attribuer ce gisement de particules d'humus et de combinaisons humiques seulement à deux causes : elles doivent être conduites dans la profondeur du sol en partie par l'eau, en partie par les animaux, principalement les vers de terre. La quantité d'humus dans cette partie du sol ne dépasse pas, en général, 3 p. 100 (tabl. VI, fig. 2), phénomène dont la cause doit être cherchée simplement dans l'oxydation progressive des restes organiques, qui doit s'accomplir brusquement surtout dans ces sols sableux meubles, et, sans doute, cela doit être attribué à ce que les parties d'humus disparaissent sur certains emplacements avec une telle rapidité, que la couche supérieure du sous-sol peut, comme nous l'avons vu, prendre le caractère du sable plombifère (tabl. III, fig. 5). Les analyses montrent que la quantité d'humus peut, à de telles places, descendre jusqu'à peu près un demi p. 100 (tableau VI, fig. 2). La combustion de la partie organique du sol se fait vraisemblablement plus vite dans certaines années que dans d'autres ; mais le résultat principal reste, sur chaque emplacement, un mélange assez constant.

On aperçoit un changement dans le partage des matières humi-

ques aussitôt que les vers de terre disparaissent et que la croûte du sol forme une masse compacte, surtout quand les recherches portent sur un terrain placé plus bas, où l'humidité du sol est plus grande que sur les hauteurs. La couleur du terreau de la couche supérieure du sous-sol ne diminue pas régulièrement ici d'ordinaire avec la profondeur; mais, les particules d'humus colorent au commencement toute la couche d'une façon presque homogène; sur des formations poursuivies plus loin commence un faible amoncellement de particules noires d'humus sur le sol de la couche supérieure du sous-sol et immédiatement sur la couche dans laquelle a commencé la formation de terre rouge (fig. 3 du tabl. III). Si l'on examine les formes de passage entre les profils représentés par les figures 2 et 3, et qu'on prend en considération la force de transport de l'eau, c'est à peine si l'on peut mettre en doute que 3 est sorti de 2, que la destruction des matières humiques a été produite par l'affaiblissement de l'accès de l'air et que l'eau a entraîné avec elle une partie des particules humiques de la couche supérieure du sous-sol et les a déposées entre les grains de sable, immédiatement sur la couche la plus compacte, la couche de terre rouge à son début. On doit cependant aussi se rappeler à ce propos quelle influence les alternatives de froid et de rosée en hiver ont sur ce limonage. Avec le changement des saisons, les petites particules, même dans la couche la plus compacte du sol, sont séparées les unes des autres en vertu de la cristallisation de l'eau et de la capacité calorifique inégale des différents éléments. Le froid ameublit la couche supérieure et favorise, par cela même, l'entraînement dans les parties basses par limonage (*Hinabschwemmung*) des particules d'humus à travers le sable grossier, en même temps qu'il participe à la formation du gisement des différents éléments d'inégale capacité calorifique. Aux mêmes forces, qui produisent le phénomène connu de la congélation des pierres au dehors du sol, peut être aussi attribuée une répartition des éléments à la superficie du sol des landes[1]. D'ailleurs, les

1. Comparez, par exemple, Detmer, *Die naturw. Grundlagen der Allg. Landwirthsch. Bodenkunde* (*les Principes de la science générale agricole des sols*). Leipzig, 1876, p. 273.

recherches concernant l'infiltration (*Durchsickerungsversuche*) citées plus bas ont démontré directement que les petites particules de sable plombifère sont plus facilement entraînées par limonage à travers une couche de cette terre que les particules du sous-sol à travers un échantillon de terre provenant d'une couche correspondante.

Quand on est arrivé à comprendre clairement les communications faites précédemment (figure 3 du tableau III) on reconnaîtra, en suivant les passages entre les profils représentés par les figures 3 et 4, que les puissantes couches d'*Ortstein*, qui se trouvent principalement dans les landes humides, consistent dans leur partie supérieure en particules d'humus entraînées en bas par limonage, qui souvent sont déposées ici en telle quantité que la masse est presque tourbeuse; mais les nombreux grains de sable que l'on voit dans cette partie de l'*Ortstein* sont tous blancs et nus, tandis que ceux qui se trouvent dans les couches plus profondes de l'*Ortstein* sont entièrement incrustés dans une enveloppe de combinaisons d'acides humiques, ce qui est une preuve du mode de formation différent de ces couches. Mais, si les particules d'humus déposées dans le sol de la couche supérieure du sous-sol ont été trouvées en plus grande quantité, il est au plus haut point vraisemblable que leur masse s'est accrue par le supplément des acides humiques et de leurs composés dissous dans l'eau du sol, ce que démontrent les analyses faites plus tard (tableau VI). La masse tourbeuse, mélangée au sable a, à vrai dire, un pouvoir considérable d'absorber par aspiration l'eau et, pour cela, retiendra longtemps l'eau brune qui s'infiltre dans les couches inférieures, d'où l'acide humique insoluble peut se séparer dans la couche même par un froid vif ou une sécheresse continue. Nous voulons lui conserver la dénomination, que lui a donnée un vieil auteur danois, de *Ortstein noir* (voir plus loin), par opposition à l'*Ortstein* brun qui forme les parties plus profondes de la couche. Sur des emplacements secs, la quantité des particules d'humus, entraînées en bas par limonage, est beaucoup plus restreinte ou a presque disparu (tableau III, fig. 6 et 7) et l'*Ortstein* noir fait presque complètement défaut sur des étendues considérables de landes; sur de telles places, l'*Ortstein* apparaît vers

le haut avec une délimitation beaucoup plus tranchée que sur le sol frais ou humide.

Lavage de la croûte du sol (*Auswaschung*). — Le plus important des facteurs avec lesquels on doit compter dans l'examen des altérations du sol est le lavage (*Auswaschung*), dont on doit envisager l'existence comme aussi réelle que celle du limonage (*Ausschwemmung*), quoique son importance pour les sols soit souvent négligée.

Depuis que Liebig a montré l'importance de la propriété, à la vérité indiquée antérieurement, mais à laquelle on n'avait attaché que peu d'attention, qu'on appelle le pouvoir d'absorption, on a, dans la science générale des sols, négligé cette force au point de vue de la chimie agricole, quand on a fait ressortir l'importance de l'influence lessivante de l'eau, qui joue un grand rôle sous le rapport géognostique. C'est bien grâce au pouvoir absorbant que les corps importants pour l'agriculture, principalement l'ammoniaque, la potasse et l'acide phosphorique, sont retenus dans le sol, mais la teneur de l'eau de drainage en chaux et en acide nitrique et les dépôts des sources riches en chaux et en ocre ferrugineuse témoignent suffisamment du pouvoir qu'a l'eau de laver le sol, et le phénomène doit être en même temps envisagé comme un résultat du procédé d'humification dans les éléments organiques de la croûte du sol[1]. En ce qui concerne la chaux et l'acide nitrique, il a été très fréquemment démontré qu'ils ne sont combinés que dans une faible limite par l'absorption, mais l'état du fer a été peu observé sous ce rapport; d'abord, parce qu'il semble n'être pas enlevé par l'eau de notre sol arable, car l'eau de drainage ne contient pour ainsi dire pas de fer[2] et, enfin, parce que ce corps est considéré comme n'ayant pas une grande impor-

1. Ici, cela va sans dire, on ne tient pas compte de ces corps dans nos eaux, qui proviennent d'un entraînement de la surface.

2. D'après des analyses faites par Zöller des substances inorganiques contenues dans l'eau de pluie ayant traversé une plus petite couche de terre recueillie dans le lysimètre (voyez Knop, *Kreislauf des Stoffs* [*cycle de la matière*], Leipzig, 1868, t. II, p. 194-199), la moyenne de la teneur en fer dans cette série considérable de recherches s'élève à environ 1/27 de la teneur en chaux. Les recherches grandioses exécutées à Rothamsted sur les eaux de drainage ont donné un résultat semblable (voyez, par exemple, Heiden, *Düngerlehre* [*Leçons sur les engrais*], Hannover, 1879, p. 375), de même que beaucoup d'autres.

tance au point de vue de la chimie agricole, parce que le sol travaillé en renferme toujours des quantités considérables. On sent, sur ce domaine, que les études sur le pouvoir absorbant ont été entreprises par le savant qui s'occupe de la théorie de l'agriculture et non de la géognosie même.

Nos nombreuses sources ferrugineuses qui, si je ne me trompe, sont beaucoup plus fréquentes que les sources calcaires, témoignent suffisamment de la grande étendue de ce transport du fer de la superficie, et il semble que l'eau de source ferrugineuse et les eaux qui déposent l'ocre le long de leurs bords existent de préférence dans la région sableuse sur laquelle des forêts, des landes recouvertes de tourbe ou des marais ont déposé des quantités importantes de substance organique dans la croûte du sol; dans les régions des landes, presque toutes les plus petites rigoles (*Rinnsale*) déposent sur les pierres et sur les brins d'herbes une couverture d'ocre le long des bords. Nous voulons commencer nos observations sur la signification du lavage pour tous les sols dont on vient de parler, qui sont, sans exception, extraordinairement pauvres en chaux, par une étude de l'état du fer.

Si nous nous tournons tout d'abord vers le sol forestier argileux, mais recouvert de tourbe, une étude répétée du tableau IV, fig. 1, montrera que l'argile et l'oxyde de fer ne suivent plus ici le même chemin qu'aux places du même sol recouvertes de terreau. Les analyses de quatre sols forestiers recouverts de tourbe montrent une diminution beaucoup plus forte du fer que de l'argile vers la superficie. Tandis qu'ici, à une distance de 15 à 29 pouces ($0^m,4023$ à $0^m,7984$) de la superficie, on trouvait une quantité de 60 à 70 p. 100 d'argile et de fer, existant à une profondeur d'environ 4 pieds ($1^m,255$), à deux pouces ($0^m,0523$) sous la superficie cette proportion s'affaisse jusqu'au-dessous de 10 p. 100; tandis qu'au contraire le taux d'argile atteignait encore 40 p. 100 ou à peu près autant sur le même sol là où celui-ci était recouvert de terreau meuble. Comme un enlèvement indépendant du fer par lavage de l'argile doit être considéré ici comme impossible, un autre facteur doit avoir dépouillé le sol du premier de ces corps; et on ne peut guère interpréter la façon dont cela a pu arriver qu'en admettant

une réduction de l'oxyde de fer et son entraînement au loin à l'état de sel d'oxydule de fer soluble. La couleur gris blanche, caractéristique de la couche du sol (sable plombifère) qui se trouve immédiatement sous la couverture humique du sol recouvert de tourbe, dénote directement cette diminution de la quantité de fer.

Le sol sableux, extraordinairement pauvre en argile des régions de landes, montre, comme cela a été mentionné plus haut (tableau IV, fig. 2), une forte diminution semblable de la richesse de la croûte terrestre en hydrate d'oxyde de fer et, à la vérité, aussi bien sous le terreau que sous la tourbe; mais, en général, cette diminution est pourtant beaucoup plus grande sous la tourbe ferme que sur la couverture de feuilles meuble; c'est seulement par places qu'elle a la même importance dans ces deux conditions. Sur le sol de terreau, le fer a disparu de la couche supérieure du sol mélangée à l'humus à un degré relativement plus grand que l'argile et, sur les sols de landes recouverts de tourbe, la couche de sable plombifère, qui correspond au sol des parties de terreau, a été décolorée par la disparition du fer. Le mode de gisement de cette matière dans son entier est tel qu'il ne peut s'expliquer, ni par un procédé de dissolution, ni par un limonage.

Comment maintenant peut-on comprendre que la dissolution du fer dans la croûte terrestre est liée, en réalité, en partie à une forme déterminée d'humus, en partie, là où cette dernière n'existe pas, limitée aux sols sableux les plus maigres, pauvres en argile et en chaux? Que, pour l'éclaircissement de cette question, soient indiqués deux moments, qui, tous deux, se tiennent dans le rapport le plus étroit avec les conditions d'humidité du sol et dont la signification pour le lavage s'élève au même degré, lorsque la croûte terrestre, grâce à sa formation ou sa composition, est aussi pauvre en fer, chaux et autres bases, ou a été dépouillée de celles-ci par l'influence de l'eau?

Quand, par suite de la disparition des formes animales, qui travaillaient le sol, l'homogénéité du sol a changé et que celui-ci est devenu ferme et compact et recouvert d'une couche de tourbe traversée par l'eau pendant la plus grande partie de l'année, ce qui fait que l'air atmosphérique est retenu par le sol mélangé avec des

matières humiques, alors le fer doit être lessivé par l'eau renfermant de l'acide carbonique. Le principe suivant, fondé sur l'expérience, n'a jamais été, que je sache, combattu par personne : l'hydrate d'oxyde de fer, dans de telles conditions, sous l'influence des matières humiques en fermentation avides d'oxygène, est réduit à l'état d'oxydule de fer, puis transformé en carbonate ou bicarbonate d'oxydule de fer facilement soluble[1]; il est entraîné par l'eau qui renferme de l'acide carbonique dans les couches de terre plus profondes ou dans les sources et rigoles, où il se dépose à nouveau par suite de l'oxydation du fer et de la disparition d'acide carbonique, sous forme d'ocre rouge.

Il est clair que ce procédé doit conduire à la formation de la couche blanc-gris, pauvre en fer, d'autant plus vite que la quantité de fer est en elle-même plus petite, et c'est pourquoi nous voyons la formation de sable plombifère commencer par en haut dans le sol argileux ou de lehm, où le fer n'existe déjà qu'en quantité très restreinte à cause du dégorgement (*Ausschlämmung*). L'entraînement par limonage de l'argile ferrugineuse de la croûte du sol par l'eau a déjà préparé, de cette façon, la voie à la formation de sable plombifère dans le sol de terreau; celle-ci ne peut d'ailleurs arriver à sa plénitude que si l'air atmosphérique est isolé à travers la couche de schiste ou d'une autre façon.

Sur le sol sableux maigre des landes avec une superficie de terreau, comme par exemple dans les boqueteaux de chênes sur sable-terreau (*Sandmull*) meuble, il y a encore un facteur indispensable pour l'accélération du lavage, je veux dire les vers de terre ; car, il n'est pas admissible que du sable ferrugineux mélangé simplement à des détritus organiques puisse suffire à restreindre le fer dans un mélange aussi meuble et, en général, facilement accessible à l'air comme les sols sableux de terreau (*Mull-Sandboden*), et le transporter avec l'aide de l'eau. Darwin a démontré clairement que le sable ferrugineux, quand il passe à travers le canal intestinal des vers de terre, est dépouillé de l'enveloppe ocreuse qui entoure les grains de sable, si bien que les excréments renferment des grains

1. Senft, *Steinschutt und Erdboden* (*Graviers et sols*). Berlin 1867, p. 274.

de sable blancs, mélangés avec une terre fine consistant en un mélange intime d'oxyde de fer avec de la matière organique[1]. Dans une terre fine de cette formation, l'oxyde de fer sera, à un degré particulièrement élevé, exposé à la réduction, aussitôt, quoique dans de plus courtes périodes, que des obstacles s'opposent à l'accès de l'air, comme par exemple lorsqu'au printemps le froid produit des transports d'eau et maintient la croûte terrestre mouillée pendant un certain temps. J'ai la ferme conviction que la forte diminution de la quantité de fer, dans la partie supérieure du sol travaillée par les vers de terre, dans les touffes de chênes (tableau IV, fig. 2 *a*), qui peut amener par places une disparition presque complète du fer (tableau III, fig. 5) et qui facilite tant la transformation de cette couche en sable plombifère, se laisse expliquer naturellement de cette façon là où l'état, dont on a parlé, est vraisemblablement le résultat de l'activité de ces animaux poursuivie pendant un siècle. Le fait, que des causes analogues n'ont pas eu la même action, doit être sans aucun doute attribué à ce que la couche de terreau est ici riche en éléments absorbants autres que le fer et que ceux-ci, pendant la courte période où la suppression de l'accès de l'air peut se produire partiellement, empêcheront un entraînement de cette substance par l'eau chargée d'acide carbonique.

La seconde cause principale de l'enlèvement par lavage du fer de la superficie du sol recouvert de tourbe est la formation d'importantes quantités d'acides humiques solubles dans la tourbe et l'entraînement de celles-ci dans les profondeurs du sol par l'eau de pluie. Leur formation sera favorisée à un haut degré non pas seulement par la suppression de l'accès de l'air, mais aussi par le degré d'humidité plus grand qui, comme on sait, caractérise la tourbe de lande par comparaison avec le sol en forme de terreau ou nu pendant une grande partie de l'année.

Les couches de tourbe formées sur pays sec apparaissent vraisemblablement avec une grande série de formes différentes, qui, toutes, sont encore, pour ainsi dire, inconnues et qui, en raison de la différence dans la nature des produits d'humification, ne peuvent en au-

1. Darwin, *Vegetable Mould* (*Terreau végétal*), p. 240-241.

cune façon exercer une influence semblable sur les couches de terre sous-jacentes, mais qui toutes, évidemment, occasionnent un développement beaucoup plus fort d'acides humiques que les processus d'humification des sols de terreau meuble bien ventilés.

La croûte de tourbe de la lande même a un caractère tout différent dans les formations anciennes et récentes de landes, comme l'a déjà démontré Emeis [1]; chez celles-là, la tourbe a souvent une couleur presque bleu-noire ou une couleur d'encre qui, peut-être, est due à du tannate d'oxyde de fer [2] et la couche a une structure plus compacte et plus fine vers le bas que la tourbe des formations récentes de landes, qui est brunâtre et dans laquelle les restes de plantes ont mieux conservé leur structure primitive.

Emmerling et Loges [3] ont entrepris, à l'instigation d'Emeis, un examen de la tourbe de lande, provenant de sol de lande sec et mouillé, et ils ont trouvé que ce dernier renfermait une bien plus grande quantité de matière humique soluble dans l'eau pure que les premiers. Des déterminations du même genre ont été faites par Tuxen sur des échantillons de tourbe provenant de lande moyennement humide, près Birkebäk, et d'une forêt de chênes dans le domaine de Strand (*Strandgehege*), près Hellebäk, et le résultat concorde, pour la partie essentielle, avec celui auquel sont arrivés les chimistes nommés plus haut. Sur 100,000 parties de substance humique, les quantités suivantes furent dissoutes dans l'eau pure entre 14 et 18°.

	D'APRÈS Emmerling et Loges.	D'APRÈS Tuxen.
Lande sèche	66	143
Lande humide	197	
Forêt de chênes	678	452

De même qu'ici il est démontré directement qu'il existe une grande différence dans la quantité de matière humique que l'eau de pluie peut entraîner avec elle à l'état de dissolution des différentes sortes

1. *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et observations forestières*), Berlin, 1875, p. 35.
2. Tuxen, *Om Lyngskjoldens Udluftning* (*Tidskr. f. Skovbr.* T. II p. 195).
3. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1883, p. 73.

de tourbe, de même le caractère général de la tourbe et la coloration des couches sous-jacentes indiquent de plus grandes différences. Ainsi, il a été mentionné plus haut que la tourbe d'épicéas produit difficilement de grandes masses d'acides humiques solubles, vraisemblablement encore moins que la tourbe de lande; il faut aussi rappeler ici la teneur de la tourbe d'épicéa en matières céracées ou résineuses, démontrée par les recherches de Senft[1], Tuxen[2] et d'autres et qui ne se trouvent vraisemblablement pas dans la tourbe de chênes.

Bien que, par conséquent, nous ne connaissions du caractère chimique des différentes formes de tourbe et de la solubilité de leurs matières humiques pas autre chose que d'importantes différences et, à la vérité, aussi bien d'après les déchets végétaux qui forment la masse de tourbe que d'après les places où celle-ci est déposée, nous sommes donc certainement autorisés à admettre que ces formes de tourbe, en tant qu'elles donnent une réaction acide à cause de l'acide humique qu'elles renferment et que le sable plombifère, dont le gisement se trouve sous la tourbe, a de même une réaction acide, doivent contenir de l'acide humique soluble, libre, que l'eau de pluie peut entraîner dans les profondeurs du sol.

A peine peut-il exister un doute sur le fait que cette eau, qui renferme de l'acide humique, contribue au lavage du sol aussi bien que l'eau chargée d'acide carbonique, en partie indirectement par la transformation par oxydation des humates en carbonates solubles, en partie indirectement par le pouvoir dissolvant de la liqueur acide même : opinion entièrement partagée par Forchhammer[3] et d'autres. Une recherche faite, en vue de suivre ce procédé en particulier, ne serait cependant pas à conseiller quand on se représente l'étendue de notre connaissance des matières humiques et de leurs combinaisons, les opinions contradictoires émises sur ce groupe de substances difficile et le grand nombre d'autres auteurs qui s'en sont occupés comme Mulder, Senft, Detmer, König, Grandeau et d'au-

1. Voyez, par exemple, *Steinschult etc.* p. 326.
2. *Tidskr. f. Skovbr.* T. II p. 196.
3. Forchhammer, *Om Marsk, Dynd og Torv* (*Johnstrup, Forchh. Almenfattelige Afh. etc.* Kbhn. 1869, p. 416 et suiv.).

tres. Pour nous, une autre difficulté s'ajoute encore à celles-ci, à savoir que les différents auteurs ont eu presque exclusivement comme objectif l'existence des corps en question dans une terre arable à réaction alcaline ou neutre, tandis que, si je ne me trompe, des recherches sur la façon dont se comporte l'humate sur un sol aussi acide que ceux dont on parle ici font complètement défaut[1].

Le rôle que les acides humiques ou peut-être l'humate d'ammoniaque[2] doivent jouer dans le lavage du sol sous une couche de tourbe se montre principalement relativement à l'hydrate d'alumine, car ce corps ne forme, comme on sait, aucun sel avec l'acide carbonique ; et c'est à cause de cela qu'il ne peut pas exercer, au point de vue de l'enlèvement par lavage du sol de cette matière, la même influence que le fer et les terres alcalines.

Il ressort évidemment du tableau V, figure 1, que l'alumine accompagne, pour la partie essentielle, les transports d'oxyde de fer dans le sable plombifère et la terre rouge; dans la première de ces couches, sa quantité est aussi fortement réduite que celle du fer et se trouve parfois amoncelée aussi fortement que le fer dans la couche sous-jacente d'Ortstein. Cette observation semble signifier que l'hydrate d'alumine peut aussi former des combinaisons également solubles dans l'eau chargée d'acide humique, ainsi que cela a été démontré par Mulder[3] et Senft[4], non pas seulement en particulier pour l'oxydule de fer[5], mais aussi pour l'oxyde de fer, quoique ces communications concordent sans difficulté avec les remarques d'au-

---

1. Darwin cite en plusieurs places dans *Vegetable Mould* un travail de A. A. Julien qui semble donner des conclusions plus détaillées sur le pouvoir dissolvant de l'acide humique. Malheureusement je n'ai pu examiner ce mémoire, car le volume de *Proc. American Assoc. of Science,* dans lequel il se trouve, manque fortuitement dans toutes les bibliothèques publiques, aussi bien ici qu'en Suède, où je m'en suis enquis.

2. Voyez Senft en plusieurs endroits, par exemple *Steinschutt* (*gravois*) *etc.*, p. 311.

3. Mulder, *Chemie der Ackerkrume* (*Chimie de la terre arable*), Berlin, 1861, T. I, p. 353 et suiv.

4. Senft, *Humus — Marsch — Torf — u. s. w.* (*Humus, Marais, Tourbe, etc.*), p. 29, *und Steinschutt und Erdboden* (*Gravois et terre*), p. 41-44, 56, 249, etc.

5. Le professeur Tuxen a démontré que l'humate d'oxydule de fer est soluble dans l'eau chargée d'acide carbonique.

tres, par exemple celles de König[1]. On doit cependant prendre en considération la grande différence qui existe entre le matériel de recherches des laboratoires et la complexité extrêmement variée de ce faisceau de combinaisons, particulièrement les sels polybasiques que forment l'ammoniaque et d'autres alcalis, dans lesquels les corps en question peuvent exister dans le sol. Il ne me paraît pas tout à fait déraisonnable dans ces circonstances, sans tenir compte des différentes opinions qui se trouvent exprimées dans la littérature sur la solubilité de l'humate en question, d'appuyer une conception du pouvoir qu'a l'eau chargée d'acide humique de dissoudre le sesquioxyde, sur des observations semblables à celles faites sur les formations puissantes de sable plombifère mentionnées plus haut, et qui existent sous les marais avec sols sableux et analogues. Avec l'opinion qu'on vient d'exposer, s'accorde très bien l'observation qu'aucun lavage apparent n'existe là où la couche du sol, sur laquelle repose la tourbe, est remarquablement riche en bases inorganiques plus fortes, qui, comme la chaux et les produits de décomposition du granit, peuvent en partie former les acides humiques, en partie accélérer leur transformation en acide carbonique par oxydation.

Mon opinion est donc que, à côté du rôle que l'eau chargée d'acide carbonique doit incontestablement jouer, lorsqu'une couche de tourbe compacte, souvent imprégnée par l'eau et qui arrête l'air, s'est formée, de même les acides humiques, s'infiltrant avec l'eau de pluie, peuvent contribuer à un degré très essentiel à la formation du sable plombifère, quoiqu'une connaissance insuffisante de la solubilité des humates rende la dernière supposition moins incontestable que la première. Le procédé tout entier est certainement analogue à la condition connue : que, dans le sol, surtout dans les couches plus profondes, il peut aussi bien se former autour des racines en putréfaction des parties décolorées analogues au sable, dont l'humifi-

1. A. König, *Ueber das Absorptionsvermögen humoser Medien* (*Sur le pouvoir d'absorption des milieux humiques*) [*Landw. Jahrb.* T. XI, 1882], pense que l'absorption des sels neutres par le sol consiste en une formation de sels doubles insolubles avec la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et l'alumine. La question de savoir comment s'établit le rapport en présence d'acides humiques libres qui, comme on l'admet généralement, augmentent le pouvoir absorbant, n'a pas été cependant mentionnée.

cation a réduit l'ocre ferrugineuse, après quoi le sel d'oxydule formé est emporté par l'eau.

Une observation plus détaillée du pouvoir absorbant nous donnera pourtant une conception plus approfondie de la formation de sable plombifère.

Absorption. — Quand la couche du sol qui gît immédiatement au-dessous de la couverture de déchets humiques a été si fortement décolorée par le limonage de la terre fine, le lavage des combinaisons de fer qui donnent la coloration à la couche et la transformation par oxydation d'une grande partie des matières humiques en acide carbonique qu'elle a pris une couleur blanchâtre, gris-blanchâtre ou gris-bleu, et que la forme d'humus est de la tourbe nettement définie, alors cette couche est toujours limitée par de l'*Ortstein* ou de la terre rouge. Apparemment, une différenciation (*Differenzirung*) a eu lieu précédemment dans les éléments de la croûte terrestre; puis, les matières fortement colorantes se sont déposées à la partie la plus basse.

Dans la première partie de ces recherches, on a représenté sous forme d'hypothèse que ce mode de gisement doit son origine aux particularités du pouvoir absorbant des couches et les études poursuivies ont été dirigées dans le but de vérifier la justesse de cette hypothèse.

Nous tournons tout d'abord notre attention vers le rapport du sable plombifère à cette propriété du sol que Liebig a qualifiée de : « une des merveilleuses lois naturelles », et en vertu de laquelle des éléments minéraux et des matières colorantes dissous, amenés par l'eau dans les profondeurs de la terre, ont été arrêtés par celle-ci si bien que, par exemple, des eaux de purin brunes et infectes, quand elles traversent une couche de terre de puissance convenable, en sortent, après filtration, pures et inodores, et nous commençons nos observations d'une façon tout élémentaire en recherchant comment se comporte le sable plombifère vis-à-vis du liquide brunâtre obtenu par extraction au moyen d'eau distillée froide de la croûte tourbeuse.

Le sable de lande jaune ordinaire décolore entièrement cette solution d'humus. 200 grammes de sable jaune de la plantation de Holt (*Holler-Pflanzung*) furent placés dans un tube de verre long de 4 à

5 centimètres, en forme d'entonnoir, et imbibés quotidiennement pendant dix jours avec 1,050 centimètres cubes d'un liquide couleur brun-sépia, obtenu en traitant 115 pouces cubiques de tourbe avec 230 pouces cubiques d'eau distillée ; 200 autres grammes du même sable avaient été traités en même temps avec la même quantité d'eau distillée. Le liquide, qui s'écoulait à travers les deux filtres, était de même parfaitement clair, ne laissait par évaporation aucune matière combustible et un résidu minéral si faible qu'on ne pouvait le déterminer. Les autres recherches furent conduites de la même façon et portèrent sur les mêmes quantités.

Un échantillon de sable plombifère, provenant aussi de la lande près Holt dans le Jütland, mais prélevé à une autre place, fut traité de la façon qu'on vient de décrire ; l'eau brune passa à travers sans changement de couleur. 100 centimètres cubes contenaient :

	EXTRAIT de la croûte de lande.	EAU DISTILLÉE filtrée à travers le sable plombifère.	EXTRAIT de la croûte de la lande filtrée à travers le sable plombifère.
	Grammes.	Grammes.	Grammes.
Matière solide. . . .	0,008	0,009	0,011
Dont :			
Matière organique . .	0,004	0,004	0,006
Cendres	0,004	0,005	0,005

La recherche fut répétée avec des échantillons de terre provenant d'une vieille forêt de chênes (domaine de Teglstrup), avec une couverture de tourbe pauvre en végétation de 4 pouces ($0^m,1046$) d'épaisseur, sous laquelle gisait une couche argileuse, grisâtre, ayant par places une coloration plus foncée due à la présence d'acides humiques et une épaisseur de 3 pouces ($0^m,07846$) ; enfin, suivait une terre rouge irrégulière, poreuse, épaisse de 4 à 5 pouces ($0^m,1046$ à $0^m,1307$) sur un sous-sol argileux ; l'eau brune s'infiltrait à travers le sable plombifère sans être décolorée, mais était parfaitement claire, après son passage à travers la terre du sous-sol [1].

Aussi bien l'eau chargée d'acide humique infiltrée que l'eau distillée laissa, d'ailleurs, par évaporation, un résidu relativement considé-

1. Les deux échantillons de terre avaient été soumis avant l'expérience à un lavage de peu de durée avec l'eau distillée.

rable, qui, pourtant, était beaucoup plus grand pour le sable plombifère que pour le sous-sol. Comme il est intéressant de voir à combien peut s'élever la quantité de terre fine que renferme le sable plombifère, sans qu'il puisse décolorer l'eau chargée d'humus, nous donnons ci-après les résultats de l'analyse mécanique :

	SABLE plombifère.	SOUS-SOL.
	P. 100.	P. 100.
Sable au-dessus de 1 millim.	9	6
Sable de 1/3 à 1 millim.	26	22
Sable au-dessous de 1/3 millim.	48.4	51.6
Argile.	16.6	20.4

Des recherches semblables sur l'infiltration furent faites sur deux échantillons de terre prélevés par le candidat forestier Hintz sur un troisième emplacement assez différent des précédents, sur un versant dans le Silkeborg Nordskov, exposé au vent d'Ouest, peuplé d'une très bonne forêt de chênes âgés de 70 à 80 ans. Ici se trouvait de la tourbe de chênes de 2 pouces et demi ($0^m,0536$) avec de la mousse et une végétation misérable d'*aira flexuosa ;* à 10-12 pouces ($0^m,2615$ à $0^m,3138$) du sable plombifère grisâtre à gros grains et avec une très petite quantité d'argile, une faible formation de terre rouge et un sous-sol jaune d'ocre, mais non tout à fait dépourvu d'argile. La même quantité de terre que dans les précédentes recherches fut lavée pendant plusieurs jours avec de grandes quantités d'eau distillée, jusqu'au moment où la liqueur s'écoulait incolore des deux échantillons de terre; ce procédé enlevait par limonage une quantité assez considérable de fine terre argileuse des deux échantillons. Puis, on les arrosait d'un extrait de tourbe de chênes couleur de madère, et cette eau, après filtration sur l'échantillon du sous-sol, s'écoulait décolorée, mais avec une coloration affaiblie après son passage à travers l'échantillon de sable plombifère.

Les masses d'eau employées pour les recherches précédentes sont trop grandes par rapport à la quantité de terre soumise à l'expérience pour qu'on ose attribuer une signification particulière à la masse du résidu d'évaporation de la liqueur filtrée et, à la vérité, d'autant moins qu'une quantité considérable de particules enlevées par

limonage rend tout à fait sans valeur les données numériques pour plusieurs des échantillons. Mais le principal résultat de ces recherches est la démonstration absolue que des couches de sable plombifère de sols très différents, en partie avec des quantités d'argile vraiment grandes, en partie avec des quantités d'argile extraordinairement petites, ne peuvent décolorer la dissolution brune extraite de la tourbe, tandis que le sol, dans des couches plus profondes, le fond sous l'*Ortstein*, même là où ce dernier (comme dans l'échantillon du domaine de Teglstrup) ne gît seulement qu'à 8 pouces ($0^m,2092$) au-dessous de la superficie et que la distance entre les points sur lesquels les échantillons destinés à la recherche ont été prélevés s'élève seulement à environ 6 pouces ($0^m,1569$), décolore pourtant l'eau encore aussi parfaitement que du bon sol de terreau ordinaire[1].

Ces recherches ont établi que la formation de sable plombifère amène un changement dans le pouvoir absorbant du sol. Mais, pour apprendre à mieux connaître cette importante condition, on a entrepris une grande quantité de recherches sur l'absorption, d'après la méthode de Knop sur des sols différents. Elles sont représentées graphiquement sur les tableaux V, VI et VII[2].

Les figures 3 et 4 (tableau V) montrent le pouvoir absorbant de trois formations de sable plombifère parfaitement typiques et d'une formation de sable plombifère qui n'est pas tout à fait normale de

1. Pour la compréhension de ce phénomène, comparez page 227, note 2.

2. Tous les échantillons de terre ont été prélevés par moi-même avec le plus grand soin, à l'exception de quelques-uns qui m'ont été livrés par quelques forestiers obligeants d'après une instruction détaillée ; cela fut seulement le cas pour quelques points dont j'avais moi-même étudié soigneusement le sol et pour lesquels j'étais en état de donner les indications les plus précises.

On entreprit en tout 120 recherches d'absorption sur 40 échantillons de terre de 12 emplacements différents ; pour tous les échantillons de terre traités, on entreprit en même temps une analyse mécanique et une analyse en partie chimique. Une des séries de recherches a pourtant dû être abandonnée, parce que les indications de la profondeur à laquelle avaient été prélevés les échantillons de terre avaient été perdues en route. La nature des profils examinés et tous les nombres trouvés dans les déterminations quantitatives sont donnés dans l'appendice annexé à cet ouvrage et dû au professeur Tuxen.

Par un examen critique de ce matériel considérable installé grâce au travail poursuivi pendant plusieurs années par le professeur Tuxen, on découvrira sans difficulté des différences et des anomalies locales dans l'absorption chez des couches de terre

quatre emplacements différents sur le pays de landes et dans les forêts de chênes dans les différentes parties du pays et sur un sous-sol très différent. Il ressort de cette représentation que l'absorption de l'acide phosphorique est parfaitement conservée sur les trois emplacements typiques et, sur le quatrième, limitée quelque peu, mais que l'absorption de l'ammoniaque est également très limitée dans les formations de sable plombifère typique. Quoique les autres conditions représentées sur le tableau VI s'écartent, en apparence, un peu de celles mentionnées plus haut, elles s'accordent pourtant toutes très bien ensemble[1], comme nous le verrons plus tard, en y regardant de plus près, et nous sommes autorisés dès à présent à poser les principes suivants sur le pouvoir absorbant du sable plombifère typique : la couche ne peut pas ou, en tous cas, peut seulement en partie, enlever les substances organiques à l'eau d'infiltration; son pouvoir absorbant vis-à-vis les acides est complètement disparu ou toutefois s'est limité à un haut degré et son pouvoir absorbant vis-à-vis les bases paraît atteindre seulement une certaine étendue, quand elle est argileuse ou riche en humus.

Maintenant se pose la question de savoir quelle cause a produit ce changement d'une importance si extraordinaire et si le facteur cherché est en relation avec les transformations indiquées plus haut, qui, toutes, se laissent réduire à un passage du sol du terreau meuble, à un état de couverture de tourbe ferme.

Si l'on observe le tableau V, on reconnaîtra, par une comparaison des figures 1 et 2 avec les figures 3 et 4, que la relation la plus exacte consiste entre la teneur du sable plombifère en hydrate de

---

en apparence semblables : particulièrement l'absorption de la potasse montre sur certains emplacements des anomalies frappantes. Celui qui a une connaissance suffisante de ce procédé extrêmement compliqué comprendra cela facilement et on reconnaîtra que du résultat principal suit par déduction une méthode de statistique certaine de façon à ne pas se laisser détourner par des anomalies locales accidentelles du sens principal du transport. Ce procédé, indispensable pour une recherche de ce genre, donne, cela va sans dire, le champ à différentes interprétations et incite à un examen approfondi des anomalies.

1. Le désaccord le plus essentiel consiste en ce que l'absorption de la potasse suit tout à fait l'absorption de l'ammoniaque dans les quatre profils représentés sur le tableau V, mais, dans les deux profils de landes extraordinairement riches en humus, elle diminue uniformément avec la profondeur.

sesquioxyde de fer et hydrate d'alumine et en matières humiques d'une part, et son pouvoir absorbant vis-à-vis l'acide phosphorique et l'alcali d'autre part. Là où la quantité de fer s'abaisse considérablement au-dessous de 0,5 p. 100, l'absorption de l'acide phosphorique a tout à fait disparu et elle est extraordinairement faible dans toutes les formations où la quantité de fer ne dépasse pas 0,5 p. 100, tandis que l'absorption de l'ammoniaque paraît être limitée principalement sur les couches les plus riches en humates, ce qui s'accorde bien avec les recherches de König[1] sur le pouvoir absorbant des matières humiques vis-à-vis les liquides alcalins.

Là où le terrain des halliers de chênes prend le caractère du sable plombifère, son pouvoir absorbant se comporte, pour la partie essentielle, tout comme celui des gisements de sable plombifère normal. (Tableau VI.)

La relation indiquée ici entre la masse de sesquioxyde et d'humus d'un côté et le pouvoir absorbant d'un autre côté concorde parfaitement avec celle que d'autres auteurs ont admise pour les matières absorbantes du sol.

Le pouvoir absorbant de l'hydrate d'oxyde de fer est déjà depuis longtemps considéré comme extraordinairement grand, de sorte que même on a prétendu, en se basant sur des observations détaillées, que le pouvoir absorbant du sol vis-à-vis l'acide phosphorique est en rapport direct avec sa teneur en fer, qui absorbe aussi avec une plus grande intensité l'alcali des sels alcalins[2]. S'il a été aussi démontré plus tard que cette théorie est insoutenable dans sa généralité[3], tous sont pourtant d'accord sur ce point que l'oxyde de fer a une haute signification pour le pouvoir absorbant du sol[4]. Ce point

---

1. König, *Ueber das Absorptionsvermögen hum. Medien* (*Landw. Jahrbücher*. T. XI, 1882).

2. R. Warrington jun. *Ueber die absorbirende Kraft des Eisenoxyds und der Thonerde in Bodenarten* (*Sur le pouvoir absorbant des différents sols vis-à-vis l'oxyde de fer et l'alumine* [*Journal für praktische Chemie*. T. CIV, 1868, p. 316]).

3. Voyez, par exemple, J. Frey, *Untersuchungen über das Absorptionsvermögen der Ackererde* (*Recherches sur le pouvoir absorbant de la terre arable* [*Landw. Versuchs-Stat.* T. XVIII, 1875, p. 3]).

4. Voyez, par exemple, Knop, *Bonitirung der Ackererde* (*Classification des terres arables*). Leipzig, 1872, p. 71, et *passim*. — Detmer, *Bodenkunde*, p. 366-367.

a, pour notre recherche, un intérêt tout à fait particulier, parce que les sols dont on a parlé sont relativement pauvres en substances minérales absorbantes[1]. Cette pauvreté tient à ce que ces sols (les landes maigres), à cause de leur origine, contiennent peu d'argile et par suite peu de matières absorbantes, ou bien à l'état dans lequel les a mis le limonage de l'argile ou l'enlèvement par lavage de la chaux[2], etc., de la croûte superficielle de la terre. Les influences qui, à de telles places, par l'occlusion de l'air dans le mélange humique ou par la formation de grandes quantités d'acide humique libre, limitent encore plus la quantité de fer, doivent nécessairement aussi restreindre le pouvoir absorbant. Sur les sols riches en argile, dont il a été parlé page 217, le lavage produit une sorte de kaolin impur mélangé avec des fragments de gangue non décomposés. Il ressort des recherches de Knop[3] que le pouvoir absorbant de cette masse est très restreint et que l'absorption du kaolin se comporte vis-à-vis de celle de l'argile ferrugineuse ordinaire comme 4-22 à 77.

Mais à cela s'ajoute encore l'influence qu'a sur le pouvoir absorbant même la dissolution renfermant des acides humiques qui se trouvent souvent dans le sable plombifère. Quoiqu'il existe à peine des observations directes sur ce sujet, il ressort cependant de différentes observations que la présence d'acides libres dans le sol et, à la vérité, non pas seulement d'acides minéraux plus forts que l'acide chlorhydrique, mais aussi d'acide carbonique[4], d'acide acétique[5] et d'acides humiques[6], affaiblit ou augmente, ou tout au moins favorise la dissolution et l'enlèvement par lavage des sels une fois absorbés. Il est d'après cela très facile de comprendre comment la quantité d'alcali et de terres alcalines a pu si fortement décroître,

---

1. Comparez les analyses citées page 133.

2. C. F. A. Tuxen, *Nogle kemiske Undersögelser af Jordbunden i Bögeskove* (*Tidsskr. for Skovbr.* T. III, p. 135-145). — R. Weber, *Unters. über die Agron. Statik des Waldbaus* (*Recherches sur la statique agronomique de la sylviculture*) Leipzig, 1877, p. 31.

3. *Bonitirung der Ackererde*, p. 34-35.

4. *Idem*, p. 19.

5. Detmer, *Bodenkunde* etc., p. 375.

6. Forchhammer, *Om Marsk* etc. *passim*.

ainsi que le montrent les analyses ; le pouvoir absorbant, en partie grâce à la présence d'acides libres, en partie grâce au manque de substances absorbantes, a subi une diminution si considérable que le sable plombifère est le plus souvent une couche au plus haut point infertile. L'examen direct du sol confirme complètement cette conclusion ; enfin ce n'est pas seulement la couche tourbeuse, mais très souvent aussi la superficie de l'*Ortstein* qui est remplie de racines de la végétation, tandis que la couche intermédiaire de sable plombifère est extraordinairement pauvre en racines.

Au contraire, le pouvoir absorbant, dans la partie du sol transformée en *Ortstein* ou en terre rouge, a subi un changement en sens contraire ; cette couche est devenue en sa totalité très fortement absorbante, ce qui ressort d'un examen répété du Tableau V ; l'absorption de l'acide phosphorique (fig. 3), tout aussi bien que celle de l'ammoniaque et, dans la plupart des places aussi, l'absorption de la potasse sont ici considérablement plus grandes que dans le sable plombifère et le sol sous-jacent. Cela doit être attribué, dans la première série, aux humates amoncelés dans cette couche, et, dans les landes, principalement à l'humate d'oxyde de fer[1].

Comme on l'a fait ressortir plusieurs fois, les matières humiques dans l'*Ortstein* proprement dite, brune ou rouge, commune à toutes les formations de ce genre, portent incontestablement l'empreinte d'une substance précipitée d'une dissolution : ici n'existe, à l'exception de mélange accidentel, aucune trace de charbon humique proprement dit, mais la matière organique forme une partie de l'enveloppe qui entoure chaque grain de sable en partie comme une croûte de terre fine. Elle renferme, à vrai dire, un peu d'acide humique libre, mais la masse principale doit pourtant consister en humates, souvent amoncelés dans la couche en quantité très considérable.

De telles substances humiques renfermant des matières minérales ont, maintenant, ainsi que le montrent les belles recherches de König[2],

1. Dans les meilleurs sols forestiers, l'humate de chaux qui, d'après les trois analyses communiquées dans le *Tidsskr. for Skovbr.* T. III p. 142-145, se trouve amoncelé, doit contribuer à une augmentation du pouvoir absorbant.

2. *Passim*, p. 48.

un pouvoir absorbant considérable, en ce sens qu'elles peuvent, tout aussi bien que les silicates, former des sels doubles insolubles avec les corps absorbés. Le pouvoir absorbant des acides humiques, au moins relativement aux sels neutres, se tient en union étroite avec la quantité de bases minérales présentes. Si l'on parcourt maintenant toute la série présente d'analyses de formation d'*Ortstein* de développement différent, il ressortira de cet examen la constatation d'un fort amoncellement de matières minérales dans cette couche, aussi constant que leur absence absolue dans le sable plombifère. L'analyse complète des couches dans cinq emplacements différents, faite par Tuxen, a établi que, quoique avec d'importantes divergences, il y a plus d'azote, de chaux, d'alumine, d'oxyde de fer, d'acide phosphorique et d'acide silicique amoncelés dans la couche de terre rouge[1] que dans les deux couches limitrophes.

Mais cette couche absorbante a en outre la propriété que son pouvoir absorbant augmentera toujours proportionnellement à la quantité de matières qu'elle a pu absorber, car celles-ci ont en elles-mêmes et par elles-mêmes un pouvoir absorbant considérable, principalement l'hydrate d'oxyde de fer, l'hydrate d'alumine et la chaux. D'après cela, il est évident que dans des conditions favorables, il s'amoncelle de si grandes quantités de cette substance, qu'elles forment en dernier lieu la partie constituante la plus essentielle de la masse, comme par exemple le fer, dont on peut admettre peut-être l'existence dans les couches d'*Ortstein* de certains sols de landes mouillés, que la couche ne se décompose plus à l'air[2] et on n'est pas en état de tracer les limites entre l'action du phénomène d'absorption et la formation de concrétions qui, d'après leur essence, doivent être considérées en elles-mêmes comme différentes. Tandis que l'oxydation des acides humiques se poursuit peu à peu dans l'*Ortstein* et que, sans doute, ces corps cèdent une partie de leur masse à l'état d'acide carbonique à l'eau qui s'infiltre lentement et qui en même temps entraîne avec elle certaines quantités des matières les plus solubles comme

1. Comparez les analyses citées, p. 126-127 et p. 133.

2. Voyez l'observation citée plus bas, faite sur des pierres de taille dans la crypte sous le *Viborger Dom*.

les alcalis et les terres alcalines, on devra attribuer une autre part aux acides humiques les plus difficilement solubles, particulièrement à ceux qui sont déposés dans les périodes de sécheresse et retenus.

Différences dans le gisement et la nature de l'Ortstein.

Il a déjà été mentionné plus haut que le gisement d'*Ortstein* dans les landes jütlandaises et les forêts sur sol sableux, aussi bien les forêts de chênes et les touffes de la région de landes que les chênes sur sable maigre (par exemple à plusieurs places dans les forêts de Silkeborg), se trouve toujours à une distance déterminée de la superficie, qui change peu sur de plus grandes lignes, tandis que dans de meilleurs sols, comme dans les forêts de chênes des îles, il commence sous forme d'une bande tout à fait fine à la superficie et souvent, sur des surfaces relativement petites, montre de très grandes différences au point de vue de l'éloignement à la superficie et de la compacité.

Nous voulons chercher une explication de ce manque d'accord, qui, d'après un examen plus approfondi, est en rapport avec plusieurs autres.

Nous commençons cette recherche par une nouvelle étude des premières traces, pour ainsi dire embryonnaires de l'*Ortstein*, qui se trouvent sous le sol en forme de terreau du hallier de chênes lorsqu'elles montrent un ton de couleur brun à peine perceptible dans la couche supérieure du sous-sol (tableau III, fig. 2), ton qu'on ne peut distinguer que sur des profils rendus lisses par l'époussetage et par une observation attentive de la couleur ocreuse des gisements profonds. Notre première question est la suivante : comment cette nuance s'est-elle produite ?

Pour éviter les changements dans la solubilité des matières humiques, liés au desséchement de la terre, l'opération simple suivante fut entreprise au lieu et place, au moment du prélèvement de l'échantillon. Des échantillons de ces trois couches, à savoir le sol grisâtre en forme de terreau (*a*), la couche brunâtre (*b*) et le sous-sol (*c*) furent agités avec de l'eau distillée et une dissolution de soude fortement étendue. On obtint les résultats suivants :

EAU.	SOUDE.
a) Liquide faiblement coloré en gris jaune.	*a*) Liquide pas très intensivement coloré en noir brunâtre.
b) Liquide faiblement coloré en brun jaune.	*b*) Liquide d'une couleur noir brunâtre, plus sombre et plus intense que celle de *a*, mais d'une nuance plus brune.
c) Liquide coloré faiblement en jaune de lehm et pas limpide (trouble).	*c*) La liqueur sodique presque tout à fait de la même couleur que la dissolution aqueuse.

Il ne peut exister aucun doute sur ce fait que la cause de la coloration différente des couches doit être cherchée dans la nature des matières organiques ; quoique *a* ne soit pas souvent moins sombre que *b* et doive être désigné par le praticien comme terreau, tandis que *c* est à considérer comme tout à fait dépourvu de terreau, cette couche renferme encore une quantité importante de matières humiques. Ce qui démontre à l'évidence que ce sont ces matières qui colorent la couche, c'est que l'échantillon de terre prélevé à une profondeur de 20 pouces ($0^m,5308$) immédiatement sous la place où le ton plus sombre de la couleur disparaît, ne donne pas une liqueur colorée par l'addition d'une dissolution de soude. La couche *a* renferme une si grande quantité de particules d'humus, de charbon d'humus de plantes non décomposées, etc., qu'elle est, ainsi que l'indique la figure 2 du tableau VI, beaucoup plus riche en substances organiques que la couche sous-jacente, et si l'on rapproche cette observation de la différence dans la coloration des liquides mentionnée plus haut, on ne peut, en aucune façon, mettre en doute que la couche *b* est colorée par des acides humiques et des humates solubles, qui, dans la couche *a*, qui doit sa coloration foncée particulièrement aux dépôts de particules d'humus noires, existent en beaucoup moins grande quantité.

Une observation plus attentive du tableau VI permettra de formuler une conclusion sur ce qui s'est passé sous le bon terreau de boqueteau. La figure 1 de ce tableau montre notamment que le sol a perdu une partie de son fer ; une comparaison avec la ligne a^1 dans la figure 2 du tableau IV rend extrêmement vraisemblable que cela puisse être le résultat du lavage produit dans le cours des temps sous l'influence de l'activité de la vie animale, ainsi qu'on l'a men-

tionné p. 210 et 211, et en même temps parce que le pouvoir qu'a le sol d'absorber les acides a été affaibli (tableau VI, fig. 3). La couche supérieure du sous-sol, un peu plus fortement colorée, a cependant retenu les sels de fer amenés du sol (tableau VI, fig. 1) : par suite son pouvoir absorbant relativement aux acides s'est encore augmenté, ce qui en partie peut s'expliquer par l'attraction réciproque du fer et de l'acide phosphorique, et en partie s'accorde bien avec les recherches de König[1] sur le pouvoir absorbant des humates. Le sol de terreau blanc, analogue au sable plombifère du hallier, dans lequel le sol est tout aussi fortement épuisé par lavage (tableau VI, fig. 1), lorsqu'aussi les matières humiques existent en plus petite quantité (fig. 2), montre naturellement les particularités dont on a parlé plus nettement définies.

Il semble d'après cela qu'on soit autorisé à tirer la conclusion que dans le sol sableux extraordinairement maigre, dans lequel les sesquioxydes et les humates qu'ils forment sont les milieux absorbants les plus importants, cette partie du terrain, qui est le siège de la vie organique, peut être si pauvre en ces matières, que c'est à la couche la plus superficielle du sous-sol qu'échoit l'activité de retenir, grâce à sa plus grande teneur en éléments basiques, particulièrement en oxyde de fer, non seulement les combinaisons enlevées par lavage par l'eau chargée d'acide carbonique, mais en même temps la quantité d'acide humique dans le sous-sol au-dessus du quantum qui peut lier cette couche pauvre[2]. La couche d'*Ortstein* se développe dans le sous-sol.

Si maintenant, avec cette conception des conditions existant dans

---

1. *Passim*, p. 49.

2. Il y a une analogie dans ce fait que, dans de bons terrains humiques où l'air a accès, en vertu de l'absence de telles bases qui puissent se combiner aux acides humiques formés, le lavage par l'eau donne un liquide brun, qui, pourtant, est de nouveau décoloré dans un sol plus riche en ces substances, comme cela arrive dans le cas cité. Knop dit notamment (*Kreislauf des Stoffs* T. I, p. 513), d'après ses propres recherches et celles d'autres, que quand on lessive de la bonne terre avec de grandes quantités d'eau, celle-ci coule d'abord incolore, et enfin jaunâtre, quelquefois aussi plus tard brunâtre. Il a remarqué que la coloration a commencé à se produire après que les sels alcalins eurent été dissous par lavage et qu'une nouvelle addition de sel de chaux fait que la liqueur redevient incolore et libre de toute matière.

le sol du hallier et ayant devant les yeux le tableau VI, nous nous enfonçons plus avant dans la lande jusqu'aux formations plus anciennes et mieux caractérisées, nous verrons alors, d'une part, que le sol de celles-ci se maintient toujours à un état de lavage plus grand et que le pouvoir absorbant du sous-sol est plus grand; d'autre part, quand nous arrivons au profil représenté dans la figure 4 du tableau III, qu'il existe une différence considérable dans le caractère des parties supérieure et inférieure de l'*Ortstein*, condition à laquelle on doit attribuer la plus grande importance pour la compréhension de la différence entre les formations d'*Ortstein* de la lande et du sol argileux.

La couche superficielle du sous-sol (*b*), représentée par la figure 3 du tableau III, a une coloration tout à fait homogène, tandis que, ainsi que le montre le dessin, sur l'emplacement représenté par la figure 4, la couche, jusqu'en haut où elle s'est fondue avec *a*, la partie la plus inférieure du sable plombifère, est beaucoup plus sombre. Pour examiner le changement qui s'est produit dans la composition lors du passage de la première forme à la seconde, l'échantillon destiné à l'analyse pour la figure 3 fut pris au milieu de la couche, etc., celui pour la figure 4 partagé en deux ; la première moitié fut prélevée aux limites des couches *a* et *b* et, à la vérité, de telle façon qu'elle contenait des parties des deux, tandis que l'autre moitié avait été prélevée au fond de *b* à quelques pouces au-dessus du sol, en apparence exempt d'humus. Les traits principaux des analyses et les recherches sur l'absorption sont représentés sur le tableau VI. Les figures de ce tableau montrent clairement que le changement le plus essentiel doit être attribué à la partie supérieure de la couche d'*Ortstein* dans laquelle les matières humiques sont principalement amoncelées. Cette partie de la couche renferme en même temps la plus grande quantité de matière inorganique (indiquée par la quantité de fer) et son pouvoir absorbant, aussi bien par rapport aux acides, est extraordinairement grand.

Cette partie noire de l'*Ortstein*, presque analogue à la tourbe qui se trouve principalement sur les landes plus humides[1], est caracté-

1. Voir p. 162 et 163.

ristique du sable de lande maigre et on ne la trouvera jamais, autant que mes connaissances me permettent d'en juger, dans l'*Ortstein* de meilleur sol ; son influence sur la nature de la couche est sans doute très grande. Comme cette partie ne consiste pas seulement en combinaison d'acides humiques précipités, mais principalement en charbon d'humus entraîné par limonage, elle possède, outre son absorption reposant sur des échanges chimiques, en même temps le pouvoir purement physique de retenir, comme du charbon ordinaire, des liquides absorbés et doit former à l'intérieur de l'*Ortstein* une couverture compacte insoluble, qui ne se trouve jamais dans de meilleur sol renfermant une plus grande quantité de terre fine et n'est pas si facilement limoné. Plus est grande la quantité de composés inorganiques amoncelés dans la couche où sont déposés les acides humiques, plus ceux-ci sont difficilement solubles[1] et le grand pouvoir absorbant de l'*Ortstein* ne le rendra pas seulement plus riche, mais encore en même temps augmentera sa faculté de retenir les acides humiques, par lesquels à leur tour son épaisseur et sa fermeté seront augmentées. L'action ininterrompue d'échanges entre les acides humiques apportés, formés en lieu et place, et les éléments basiques absorbés accélérera et poursuivra la formation.

D'après cela, il n'est pas invraisemblable que, lorsqu'aucune différence essentielle ne sépare la couche d'*Ortstein* de la superficie dans le sol de landes, cela tient, pour le sol plus humide, à ce que la partie superficielle tourbeuse de l'*Ortstein* s'oppose au lavage poursuivi de la couche de sable plombifère ; sur la lande sèche, haut placée, la circonstance que la croûte de lande qui, ainsi que nous l'avons vu page 212, cède beaucoup moins d'acide humique à l'eau qui s'infiltre à travers que la tourbe de hêtres, contribue peut-être à empêcher la formation du sable plombifère ; et sur les deux emplacements, l'amoncellement visible dès le début d'éléments basiques, et notamment d'oxyde de fer, favo-

---

1. Voyez, par exemple, Knop, *Bonitirung der Ackererde*. Leipzig, 1872, p. 20. — Barfoed, *De organiske Stoffers qualitative Analyse* (*De l'analyse qualitative des matières organiques*). Kbhn, 1878, p. 179.

rise vraisemblablement le gisement uniforme de cette couche dans l'*Ortstein*[1].

Nous nous livrons maintenant à une observation plus attentive du développement de la formation d'*Ortstein*, dans des sols renfermant environ 10 p. 100 et plus d'argile, et nous commençons cette étude par un examen des conditions dans les sols argileux en forme de terreau.

Pour ces sortes d'emplacements, nous possédons trois séries de recherches danoises, dont une a trait à la croûte de terre superficielle jusqu'à une profondeur d'un pied[2] ($0^m,3138$) et les deux autres embrassent le terrain portant la végétation à une profondeur respective de 2 pieds et demi et 4 pieds[3] ($0^m,7846$ et $1^m,2554$). A cela peuvent s'ajouter encore trois recherches allemandes, une de Stöckhardt, de l'année 1865[4], et deux de R. Weber, de l'année 1877[5], qui, toutes trois, dans leurs résultats principaux, s'accordent d'une façon exceptionnelle avec les analyses de Tuxen.

Il ressort de ces observations faites sur différents emplacements forestiers en Danemark, en Saxe et en Bavière, que le sol, abstraction faite de la couche supérieure de terreau mélangé à des restes de plantes décomposés, est plus pauvre que le sous-sol et à la vérité non pas seulement en éléments lixiviables (limonables, *ausschlämmbar*), comme par exemple l'argile ferrugineuse, mais aussi en éléments nutritifs des plantes solubles dans l'acide chlorhydrique étendu, la potasse, la chaux, la magnésie et l'acide phosphorique. Il n'est pas impossible que cette quantité plus restreinte de principes

---

1. La possibilité d'accroissement en puissance de la couche de sable plombifère ne peut pas assurément être contestée ; mais ce processus doit avoir lieu si lentement qu'il s'est dérobé à mon observation.

2. Voir p. 123.

3. Voir p. 125 et 126.

4. Stöckhardt, *Ueber die Bodenverarmung durch Streurechen u. s. w.* (*De l'appauvrissement du sol par le ratissage de la paille*, etc.). [*Landw. Versuchsstat.* T. VII, 1865, p. 311.]

5. R. Weber, *Untersuchung über die Agr. Statik des Waldbodens* (*Recherches sur la Statique agronomique du sol forestier*), Leipzig, 1877, p. 28, profils I et III. Les échantillons de terre examinés par Weber sont d'ailleurs prélevés si près de la superficie qu'ils ne peuvent en aucune façon approcher de ce que nous appelons sous-sol (*Untergrund*), d'où résulte apparemment un peu d'incertitude dans les nombres. Son profil II est vraisemblablement du sol recouvert de tourbe.

nutritifs des végétaux d'une si grande valeur existant dans le sol provienne de la consommation des plantes ; la différence entre les quantités de ceux-ci dans le sol et le sous-sol est à peine assez grande pour être attribuée à cette cause.

Nous avons cherché à déterminer le pouvoir absorbant du sol de terreau vis-à-vis de l'ammoniaque, de la potasse et de l'acide phosphorique, à des profondeurs différentes sur trois emplacements (Tableau VII). Les transports constants et en apparence conformes aux lois que montre le pouvoir absorbant du sol recouvert de tourbe de la superficie vers la profondeur, ne sont cependant pas ici aussi fortement caractérisés : dans ce sol plus riche, la variété du pouvoir absorbant se fait fortement valoir et les recherches ne sont pas suffisamment vastes pour fournir une explication complète des variations.

Mais une étude plus détaillée du tableau VII nous conduit pourtant aux conclusions suivantes, facilement explicables.

L'absorption de l'acide phosphorique paraît être dépendante de l'argile et de la quantité de fer ; c'est pourquoi elle s'affaisse fortement juste dans la croûte superficielle, où ces corps existent en plus petite quantité. L'absorption de l'alcali paraît dépendre dans le sol surtout des matières et combinaisons humiques[1] et, pour cela, augmente de la croûte du sol vers le sous-sol. Seulement juste à la superficie, où une grande partie des matières humiques consiste en restes de plantes décomposés, le sol absorbait beaucoup plus fortement l'ammoniaque que la potasse. Le pouvoir absorbant du sous-sol, où la quantité d'argile et de chaux augmente au fur et à mesure qu'on s'élève, croît fortement au contraire de haut en bas.

Si maintenant la tourbe détend sa couverture filiforme sur la croûte terrestre, celle-ci se place donc sur cette partie du sol qui est des plus pauvres en argile ferrugineuse et contient moins que les couches

---

1. La quantité de chaux, qui a également une grande importance pour l'absorption des bases, mais qui n'a pas été déterminée dans les échantillons de terre dont on a étudié le pouvoir absorbant, a, d'après des analyses faites précédemment et se rapportant aux mêmes emplacements forestiers, tout à fait le même transport que l'absorption de l'alcali. Comparez profils II et III sur le tableau I avec la figure 4 du tableau VII.

plus profondes de matières inorganiques solubles, dont l'absorption vis-à-vis les acides est plus loin relativement faible et dont l'absorption vis-à-vis les bases paraît enfin liée, dans une proportion qui n'est pas négligeable, aux combinaisons humiques facilement décomposables. D'après cela, il semble évident qu'aussitôt que le sol est devenu ferme et que l'accès de l'air a été empêché par la couche filiforme de la formation de tourbe à son début, le lavage doit commencer immédiatement à la superficie du sol qui est le plus fortement mélangée avec des matières humiques et le plus facilement lavée, à cause de sa pauvreté relative en combinaisons solubles. La teneur du sol en argile avec oxyde de fer croît rapidement avec chaque pouce de profondeur et comme le sol tout entier n'est pas, comme les sols sableux maigres, dépouillé par le limonage des matières que l'eau chargée d'acide peut emporter, la formation de sable plombifère doit commencer sur un sol plus argileux comme une faible bande sous la tourbe et peut tout d'abord, avec le temps, augmenter en puissance, tandis que le développement, semblable à celui qu'on a décrit plus haut, doit être différent.

Si la bande de sable plombifère est formée, alors suit naturellement la bande de terre rouge, de puissance et de richesse en humus différentes, d'après la nature de la dissolution, qui, ainsi que nous l'avons vu, s'infiltre, sans être décolorée, de la couche de tourbe à travers le sable plombifère.

Il me semble en tous cas facile de comprendre comment l'apport, poursuivi et régulièrement croissant de l'eau acide peut enlever par lavage les éléments basiques, qui cimentent au début les acides humiques colorants et comment, de cette façon, la couche de sable plombifère peut augmenter régulièrement. Mais, pourtant, il reste encore deux questions à résoudre, avant que nous ayons obtenu une conception complète de la différence de la formation d'*Ortstein* dans le sol de landes sableux et dans le sol forestier argileux : Pourquoi ne se forme-t-il pas, dans ces derniers emplacements, d'*Ortstein* noir qui se trouve si souvent dans la lande, qui contribue sans doute essentiellement au maintien de cette formation à sa place de gisement d'origine, et pourquoi ne s'amoncelle-t-il pas de fer dans l'*Ortstein* du sol argileux, comme dans celui

du sol de lande, qui favorise également la stabilité de toute la couche ?

Il est facile de répondre à la première question. Dans les nombreux examens que j'ai faits de sol recouvert de tourbe des forêts de chênes dans un terrain moins pauvre en argile, je n'ai jamais trouvé aucune trace d'*Ortstein* noir et jamais non plus la couche de sable plombifère, mélangé avec du fin charbon d'humus, comme dans le sable de lande. C'est pour cela qu'on voit plus fréquemment du sable plombifère blanc de neige dans les sols argileux que dans le sable de lande et une coloration plus sombre dans les vieilles couches de sable plombifère, dont la teneur en humus ne peut provenir d'un résidu d'un sol de terreau antérieur, est sur les meilleurs emplacements à un tel point caractérisée qu'elle montre qu'elle provient de la même matière qui colore l'*Ortstein*, par conséquent d'acides humiques solubles, qui se trouvent sur le chemin de la couche de tourbe à l'*Ortstein*.

Les éléments de ce sol ont des grains si fins et leur compacité est pour cela si grande, qu'un entraînement au fond par limonage du charbon humique ne peut avoir lieu, comme dans le sable maigre à gros grains et lavé. Il est au contraire beaucoup plus difficile de répondre à la dernière question. Le professeur Tuxen a donné, pour huit emplacements de sol sableux maigre, des déterminations de la quantité de fer dans la couche d'*Ortstein*, qui toutes contiennent beaucoup plus, le plus souvent deux à trois fois autant de fer que le sous-sol (Tableaux V et VI) ; pour l'*Ortstein* argileux nous avons six analyses[1] de différents emplacements (Tableaux IV et V) qui montrent qu'ici, dans cette couche, qui est plus pauvre en fer que le sous-sol[2], il n'y a pas d'amoncellement de fer. La différence doit donc être consi-

1. Voyez aussi tableau II.

2. Un seul emplacement forestier dans les îles (*Sollerød-Kirkeskov*, tableau V, figure 1) s'accorde presque tout à fait avec les landes, au point de vue des conditions dont on vient de parler ; mais cet emplacement est en partie anormal (*abnorm*) sous plusieurs rapports, en ce sens que la quantité d'argile diminue avec la profondeur, qu'en partie le sous-sol consiste ici en sable maigre, très analogue au sable de la lande, et qu'enfin la place où ont été prélevés les échantillons n'avait pas été heureusement choisie, car c'était un bosquet montagneux escarpé, auquel l'eau superficielle peut avoir donné l'état anormal.

dérée comme parfaitement constatée. Des recherches directes faites pour expliquer cette merveilleuse condition n'existent d'ailleurs pas, mais l'interprétation suivante me semble être admissible.

Quoiqu'on doive supposer que l'oxydule de fer se transforme beaucoup plus facilement en oxyde dans le sol sableux ouvert, facilement accessible à l'air, que dans le sol argileux compact, cela ne me semble cependant pas suffisant pour expliquer la différence très grande et extrêmement constante de la quantité de fer de l'*Ortstein* dans les deux sortes de sol ; on doit chercher un facteur plus éloigné, agissant essentiellement.

Les deux bases, à l'état de carbonate de chaux et d'oxydule de fer dissous dans l'eau chargée d'acide carbonique, se trouvent dans les eaux souterraines qui jaillissent à la surface comme eau de source et il faudrait maintenant examiner si la cause en vertu de laquelle la terre n'a rien retenu de ces carbonates n'est pas la même pour les deux ; la manière dont se comporte le carbonate de chaux est aujourd'hui bien connue, tandis que le carbonate d'oxydule de fer n'a pas été, que je sache, étudié.

Il est hors de doute que le pouvoir absorbant vis-à-vis de la chaux ne fait pas défaut au sol, si bien que cette matière peut être retenue par exemple par les acides humiques, mais, d'un autre côté, de nombreuses recherches ont démontré que l'absorption de la base dans les sels alcalins repose principalement sur ce que la chaux est déplacée de ses combinaisons par les bases plus fortes et reste dans la dissolution. L'eau de drainage sous la partie cultivée de notre pays renferme pour cela de la chaux et, plus la terre a été enrichie en alcali par la fumure, plus la chaux a été entraînée par l'eau de pluie[1].

Si nous faisons abstraction de la chaux qui se trouve dans l'eau de source et qui provient de l'infiltration de l'eau chargée d'acide carbonique à travers les couches marneuses et calcaires et si nous dirigeons particulièrement notre attention sur la croûte de terre

---

1. Voyez notamment les excellentes recherches de Vœlcker sur les eaux de drainage de Rothamsted (*Heiden's Düngerlehre* p. 375-380). Comparez aussi les recherches de Peter sur l'absorption de la potasse (*Detmer's Bodenkunde* p. 329-336) etc.

humique, le lavage de la chaux par l'enlèvement du sol peut signifier une relation entre cette base et une base plus forte ; les acides puissants qui s'y trouvent s'emparent de celle-ci et abandonnent la chaux à l'eau chargée d'acide carbonique.

Il n'existe pas d'oxydule de fer dans le sol de champ meuble, bien travaillé, et dans le terreau, ce qui est certainement considéré comme funeste pour beaucoup de plantes. Mais on peut considérer comme incontestable, d'après ce qui a été dit plus haut, qu'il s'est formé dans le sol recouvert de tourbe [1]. Si maintenant nous voyons qu'il n'est pas absorbé sur son chemin dans le sol, là où celui-ci est plus riche et renferme des masses considérables d'argile avec le contenu ordinaire de cette matière en autres produits de décomposition du feldspath et d'autres minéraux qui produisent l'argile, tandis qu'il est retenu en proportion assez considérable dans l'*Ortstein* riche en acides humiques du sol sableux pauvre en bases et à la vérité le plus fortement là où la quantité d'acides humiques est la plus grande, ainsi s'impose la conclusion, analogue aux conditions de l'absorption de la chaux, que c'est justement la plus grande richesse du sol argileux en bases minérales plus fortes qui diminue l'absorption de l'oxydule de fer ou favorise le changement de celui-ci et qu'elle porte la faute de l'absence de fer de l'*Ortstein* dans les sols argileux. D'après cela, les acides humiques dans les sols riches, fortement minéraux, ont dû être facilement combinés par l'humate d'oxydule de fer avec de plus fortes bases, notamment la chaux, tandis que l'oxyde de fer s'en va avec l'acide carbonique, exactement de la même façon que la potasse et l'ammoniaque dans les bons sols arables ont été arrêtées par les acides plus puissants, tandis que la chaux est abandonnée à l'acide carbonique et entraînée par l'eau chargée d'acide carbonique. D'autre part, l'absence dans le sol de lande de bases plus fortes et la grande richesse de l'*Ortstein* en acides humiques permettra l'absorption des sels d'oxydule de fer ; ensuite ils peuvent, dans les temps de sécheresse pendant

1. La présence de ce corps dans la tourbe et dans le sable plombifère a été d'ailleurs constatée directement par le professeur Tuxen (*Tidsskr. f. Skovbr.* T. II p. 188 à 193 et T. I p. 267).

lesquels l'air a de nouveau accès dans la croûte terrestre, être déposés à l'état de sels d'oxydule de fer insolubles.

L'amoncellement du fer dans l'*Ortstein* de la lande n'exclut pas, à vrai dire, la possibilité que la formation puisse être envisagée non comme un phénomène d'absorption, mais bien comme un phénomène de concrétion, à la suite duquel les substances homogènes cherchent pour leur formation de plus grands amoncellements. Mais je crois que cette conception est insoutenable et cela pour les raisons suivantes.

Premièrement des concrétions de fer, sur lesquelles on ne peut avoir aucun doute, prennent dans les mêmes sols que ceux dont il est question ici, des formes tout autres que celles que nous allons voir. Deuxièmement, la première origine faiblement indiquée de la couche d'*Ortstein,* qui, pour ainsi dire, nous donne la clef de la conception de cette formation, ne peut être considérée comme un phénomène de concrétion; de plus, l'amoncellement de fer est réparti d'une façon trop uniforme à travers toute la couche. Troisièmement enfin, je ne pense pas qu'on puisse élever une objection essentielle contre l'idée exprimée plus haut, que la formation d'*Ortstein* est principalement un phénomène d'absorption, et mon opinion est que cette conclusion est la plus naturelle d'après l'ensemble des prémices. Mais, cela n'exclut pas que l'amoncellement qui est amené par l'absorption puisse se terminer par la concrétion et que cette force doive intervenir pour transformer l'*Ortstein* humique (*Humusortstein*) ferrugineux qui se décompose facilement à l'air en *Ortstein* ferrugineux (*Eisenortstein*) proprement dit, inaltérable à l'air, qui, à ce qu'il paraît, peut exister au fond sous des sols de landes humides et des sols marécageux.

Si nous jetons un coup d'œil rétrospectif sur l'ensemble de la précédente recherche concernant le sable plombifère et l'*Ortstein* dans les landes et dans les forêts, je crois bien qu'on peut en tirer la conclusion suivante : ces phénomènes peuvent et doivent être interprétés comme le résultat de l'occlusion de l'air du sol en partie par une plus grande compacité et un autre degré d'humidité que ceux qui existent dans le sol de terreau meuble du même emplacement, en partie aussi par l'influence variée de la couche de tourbe

riche en acides humiques. La cause principale des différences très considérables dans la nature de l'*Ortstein,* ainsi que le montre une observation plus détaillée, doit être attribuée à l'action différente de mêmes causes sur le caractère non homogène du terrain.

Ortstein comme formation de concrétion et fer limoneux.

Pour donner encore plus d'étendue à la conception des conditions dont on vient de parler dans ce qui précède, on doit encore mentionner quelques phénomènes qui doivent être envisagés comme différents de ceux-ci, quoique ces deux sortes se soient transformées fréquemment l'une dans l'autre. Ce sont les concrétions proprement dites de fer de caractère différent qui se trouvent dans le sol riche en humus.

Toutes les variétés d'*Ortstein* ferme et meuble et de terre rouge, dont on a parlé dans les chapitres précédents, qu'elles puissent maintenant apparaître aux places de gisement sous forme de masses terreuses meubles, ou atteindre une plus grande fermeté, ont cela de caractéristique, qu'elles ont pour bases et pour élément essentiellement cimentant et liant des dépôts d'acides humiques et des humates, que, pour cela, elles se décomposent par l'addition de liqueur de soude avec laquelle elles donnent ensemble une dissolution dont la couleur varie du brun au noir, tandis qu'au contraire, les acides minéraux étendus n'agissent que faiblement sur elles et que, exposées à l'air, elles se décomposent en peu de temps complètement en un sable dont la couleur va du jaune au noir brun. Leur formation doit, d'après la cause principale, comme nous l'avons vu, être considérée comme un phénomène d'absorption, qu'elles puissent contenir plus ou moins de fer que la terre environnante, ce qui, selon toute apparence, provient seulement des différences produites dans l'absorption par la teneur de la masse absorbante en bases minérales.

Différentes, comme base, de celles-ci, sont les formations qui se trouvent dans les landes et dans les forêts, caractérisées également par le nom trivial (*Trivialnamen*) d'*Ortstein,* dont le ciment principal (*Hauptbindemittel*) est l'oxyde de fer, particulièrement l'hy-

drate d'oxyde de fer; elles sont pour cela insolubles dans la liqueur de soude, mais se détruisent à chaud par l'acide chlorhydrique étendu; elles ne se décomposent pas à l'air, leur formation doit être considérée comme un phénomène d'absorption, et leur contenu en sable et en autres éléments de la terre dépend principalement du sol dans lequel cet agrégat s'est formé. Elles peuvent se trouver soit comme pierre de sable ferrugineux proprement dite, qui consiste en sable avec de l'oxyde de fer, soit comme fer limoneux dont les éléments mélangés dans la proportion d'une quantité d'oxyde de fer qui, d'après Senft[1], varie entre 80 et 95 p. 100, forment une partie restreinte de la masse.

La première forme, nommée le grès limoneux (*Limonitsandstein*), se présente principalement sous trois formes. Premièrement, il se trouve sporadiquement sous la croûte de lande dans les landes *montagneuses*[2], aussi bien dans le sable plombifère que dans l'*Ortstein* et la couche supérieure du sous-sol, mais particulièrement dans le sable plombifère, comme grumeaux plus ou moins petits, de forme plate et, à la vérité, de très petits corps en forme d'écailles jusqu'aux grès d'environ un pied ($0^m,3138$) de diamètre. Dans les plantations de Holter et de Birback, dans les paroisses de Rind et Arnborg, il y a des lignes sur lesquelles des charrues employées pour la culture des landes (*Haidepflügen*) amènent au jour ces fers limoneux, tandis que ceux-ci ne se trouvent pas sur d'autres étendues. La forme homogène, semblable à un disque, et la superficie particulière rude justifient l'hypothèse qu'on a affaire ici à des terrains d'alluvion qui n'ont pas été formés en lieu et place, mais amenés ensemble avec d'autres fragments de la montagne plus gros et mélangés au sable de la lande.

La deuxième forme de gisement de cette pierre de sable-limonite (*Limonitsandsteine*) consiste en de plus grands rassemblements atteignant plusieurs *ellen* cubiques d'une masse analogue au sable ferrugineux. Si on enfonce la charrue de landes sur une telle masse,

1. Senft, *Humus, Marsch*, etc., p. 176.

2. Vraisemblablement ils se trouvent aussi dans les surfaces de landes, mais je ne connais pas leur sol aussi exactement que celui des parties montagneuses et je ne me rappelle pas avoir vu cette limonite dans celui-ci.

on a au premier instant l'impression qu'on a devant soi une roche pourrie; la superficie est molle et se laisse briser par le soc, mais le noyau est ferme et compact. Mais une observation plus attentive montre qu'il existe une formation en voie de développement, qui commence par le dépôt d'oxyde de fer sur une quantité de petits centres de concrétion, qui, par suite de l'amoncellement poursuivi du fer, se fondent ensemble en de plus grands blocs. Le fait que la masse de limonite est formée au lieu et place ressort clairement de son sable environnant, car le grenage correspond aux parties du squelette du sol et, partout où l'on remarque un changement ou une indication du partage des couches dans le sable, le phénomène se poursuit dans l'intérieur du grès. Le dépôt est de telle nature que le grumelage de la limonite s'étend au-dessus dans le sable plombifère et en dessous dans le sous-sol et occupe avec la masse principale la place de l'*Ortstein* meuble normal, sans pourtant conserver la limitation de celui-ci; je n'ai trouvé nulle part ces blocs à plus de deux pieds ($0^m,6277$) au-dessous de la superficie, tandis que, d'après d'autres auteurs, ils doivent se trouver à une profondeur beaucoup plus grande dans le sol.

C'est à peine si l'on peut mettre en doute que la première cause de ces formations est la même que celle à laquelle le sable plombifère doit son origine, c'est-à-dire la réduction de l'oxyde de fer par l'exclusion de l'air d'un sol riche en humus et la formation de combinaisons de fer solubles. Mais le dépôt renouvelé du fer ne peut évidemment pas suivre sa marche sous l'influence de forces de même nature que celles qui amoncellent uniformément des sels de fer divisés dans la superficie du sous-sol imprégnée par les acides humiques. Les limonites en question doivent s'être formées de la même façon que les *pierres néphritiques* (*Nieren*), les grumeaux et les concrétions de différentes sortes, comme, par exemple, la chaux, la pyrite sulfureuse, le fer limoneux, etc., qui se trouvent si fréquemment dans notre sol et dont l'origine de leur formation est un amoncellement continu de plus grandes masses de la même matière sur un centre de dépôt. Je pense que la formation poursuit sa marche principalement quand la croûte supérieure est imprégnée d'eau et j'ajoute cette remarque à ce propos, parce que j'ai trouvé ces limo-

nites sur des plateaux toujours aux places avec une petite pente, dont quelques-unes offrent des signes incontestables d'un sous-sol compact, parfois de lehm ou argileux, à une distance relativement restreinte de la superficie.

Parmi ces limonites, on doit encore compter le grès ferrugineux, qui, autant que mes connaissances me permettent d'en juger, doit exister principalement dans le sol de lande humide, à l'état de plus grandes parties sous forme d'île de l'*Ortstein* humique ordinaire; je ne l'ai pourtant jamais observé même sur la place de formation. Il me paraît ici pouvoir se former sur de plus grandes places en couches semblables de puissance vraiment considérable, comme l'*Ortstein* humique (*Humusortstein*). Je veux admettre seulement comme probable l'explication donnée plus haut que de telles couches peuvent prendre naissance par un amoncellement poursuivi du fer dans l'*Ortstein* humique, si bien que celui-ci est transformé en une véritable limonite. Comme un témoignage de la durée de ce grès, on doit invoquer ici le fait que quelques-uns des blocs de pierre, qui reposent dans le mur de la crypte de la cathédrale de Viborg, consistent en grès ferrugineux qui, évidemment, appartient à cette espèce et vraisemblablement a été tiré de la contrée environnante; ces blocs ont résisté très bien à l'efflorescence durant 700 à 800 ans.

La deuxième forme de concrétion ferrugineuse réelle, qui a été trouvée dans nos forêts et nos landes, est le fer limoneux (véritable limonite), dont l'existence en dehors des marais ne paraît pas avoir été suffisamment étudiée chez nous. Il se trouve non pas seulement dans les marais forestiers, les prairies tourbeuses et les marais de landes, sous forme de masse noire, de la grandeur d'un grain de sable et d'un pois jusqu'à des blocs de volume considérable, mais aussi, dans certaines circonstances, dans le sol argileux même, dans des conditions bien propres à compléter les observations communiquées plus haut sur le caractère des couches du sol forestier ordinaire.

Sous le sol meuble, en forme de terreau, de coloration homogène, se trouve très généralement répandue, dans beaucoup de contrées la couche grisâtre, parfois blanche et ferme, mentionnée dans

la première partie de ce travail, et dont il a été parlé à nouveau au commencement du présent mémoire (voir p. 145), et que j'ai appelée la partie supérieure du sous-sol. Il a déjà été dit que cette couche, en dépit de sa dureté parfois très grande, est plus ou moins poreuse, qu'elle existe principalement dans un sol de sable de *lehm* ou de *lehm* sableux, qu'elle n'est pas précipitée par des acides minéraux étendus ou une dissolution d'alcali, et qu'elle doit être envisagée comme une couche qui doit sa fermeté à des particules entraînées en bas ou concentrées par limonage, particulièrement de l'argile fine, par quoi les autres éléments du sol sont cimentés. Je n'ai jamais trouvé cette formation dans le sol très pauvre en *lehm* et, dans l'argile tenace, elle fait aussi ordinairement défaut. D'ailleurs, son apparition est tout à fait indépendante de la végétation, car on la trouve dans les forêts avec chaque essence et elle existe aussi dans les landes de *lehm*, par exemple, près Villestrup.

Les études poursuivies ont montré que cette couche ne joue pas un rôle accessoire pour la végétation sur le sol naturel, en ce sens que son éloignement de la superficie est, dans beaucoup de cas, déterminant pour ce que le praticien caractérise sous le nom d'étendue en largeur et en profondeur du sol. Ce qui repose sur cette couche que nous voulons appeler « *Thonortstein*[1] » (ortstein argileux), d'après la nature de ses éléments cimentants, est, à un degré tout à fait prépondérant, cette partie du sol qui est le siège de la vie animale; certes, il est peut-être entièrement formé par des vers de terre (voyez plus loin) et se distingue de la façon la plus frappante par sa porosité et, le plus souvent, en même temps par sa couleur de *Thonortstein*. La puissance du sol varie, dans notre sol moyen argilo-sableux, entre 1 et 3 pieds ($0^m,3138$ et $0^m,9415$) et, ordinairement, le *Thonortstein* repose à 2 pieds ($0^m,6277$) au-dessous de la superficie; mais, sur de bon sol, cet éloignement peut s'élever à plus de 6 pieds ($1^m,883$), comme dans la forêt de Folehave, tandis qu'il peut aussi s'affaisser de 3 à 5 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1307$).

1. Dans le Jütland nord, aux environs de Villestrup, cette couche est appelée par la population *Waldortstein* ([*Skovahl*] ortstein de bois).

Aussitôt que l'éloignement à la superficie ne comporte que 1 pied ($0^m,3138$) ou au-dessous, cela se constate tout de suite à la hauteur restreinte qu'atteignent les arbres et, seul, l'épicéa atteint un développement complet avec ses racines s'étendant sous la superficie. Quand le *Thonortstein* avance encore plus près de la superficie, la forêt de chênes se rabougrit, les tiges ont une épaisseur restreinte, la hauteur ne dépasse pas souvent 50 à 60 pieds ($15^m,99$ à $19^m,131$), même dans la forêt centenaire, et les arbres sont enguirlandés. La première impression qu'on ressent à la vue d'une telle croissance arbustive, donne à penser qu'on trouvera ici un mauvais sol ou de l'*Ortstein* fort, mais le creusement montre que le sol consiste en *lehm* aussi bien qu'en argile assez tenace, et que la couche de terreau est de bonne nature, mais forme seulement une couverture mince sur le *Thonortstein* rude et ferme.

Quelquefois, dans cette formation, il se développe du fer limoneux réel, comme, par exemple, aux places plus humides dans la forêt, près Sophie-Amaliegaard, Bien-Glausholm dans le Jütland (Tableau III, fig. 8).

Quand le *Thonortstein* gît si près de la superficie qu'il est sous l'influence immédiate d'une bande humique, et quand le sous-sol consiste en terre glaise que l'eau ne traverse que difficilement, il est, aux époques humides de l'année et dans les places basses, facilement imprégné d'eau ; par suite, l'accès de l'air est intercepté et les combinaisons du fer de la couche sont désoxydées sous l'influence de la transformation des matières humiques en acide carbonique. Puis, les périodes de sécheresse qui suivent diminueront à nouveau la quantité d'eau, l'accès de l'air à travers le sol poreux sera rétabli et occasionnera des séparations d'hydrate d'oxyde de fer, qui, dans le cours des temps, par un accroissement toujours renouvelé de grumeaux et de fer limoneux, peuvent s'augmenter. Je pense que ce qu'on désigne en Allemagne sous le nom de « *Raseneisenerz* », qui se trouve dans certaines contrées en grandes masses et en dépôt de la façon décrite plus haut, est identique avec notre « *Myremalm* ».

Comme résumé de ce chapitre sur les transformations physiques et chimiques du sol, nous donnons ci-après un aperçu systématique sur les couches dures plus ou moins impénétrables aux racines des

plantes, et désignées sous le nom général d' « *Ortstein* » (Ahl), telles que, d'après ce qui précède, nous pensons qu'elles doivent être envisagées. Les formes décrites se divisent d'après leur origine, à la vérité, suivant qu'elles se sont produites par limonage (*Abschwämmung*), absorption ou concrétion, dans les trois groupes suivants :

A. — *Ortstein produit par limonage.*

CARACTÈRE.	ÉTAT.
1. *Thonortstein.* — Un mélange plus ou moins poreux, ferme et dur de sable et d'argile de couleur grisâtre, assez homogène. Le traitement par la solution alcaline ou les acides minéraux étendus ne change pas sa consistance.	Forme, dans un sol recouvert de terreau, de nature sablo-argileuse, des couches cohérentes à une distance de 8 à environ 200 centimètres de la superficie. Il se tient, même après le revêtement de la croûte terrestre, avec la tourbe et les transformations du sol qui en dérivent.
2. *Ortstein tourbeux.* — Agglomération compacte, terreuse et même dure, noir-brun, noire ou bleu-noir de charbon d'humus revêtue d'acides humiques ou d'humates et mélangée en plus ou moins grande quantité avec des grains de sable blancs, recouverts d'une couche d'ocre. Acide à cause de sa teneur en acides humiques. Traitée par une liqueur de soude, se décompose facilement en du sable blanc et du limon tourbeux amorphe en donnant une solution noire. Se décompose à l'air. (Souvent un mélange de grandes masses de fines racines de bruyères.)	Se développe en couches cohérentes sous le sol lavé, dans les landes et les forêts, sur des sols à gros grains, au plus fort dans un sol frais, humide ou mouillé ; déposé immédiatement sur l'*Humusortstein* proprement dit et séparé de celui-ci par une limite qui n'est pas nette.

B. — *Ortstein produit par absorption.*

3. *Humusortstein.* — Grès compact, terreux, même dur, variant du jaune-brun au noir-brun, consistant en parties de squelette du sol (particulièrement le sable quartzeux) enveloppées d'humates et d'acides humiques séparés et cimentés ensemble. Le traitement par la liqueur de soude le décompose en sable et en terre fine, avec une petite quantité de limon tourbeux amorphe, en donnant une solution noire. Seulement faiblement affecté par des acides minéraux étendus. Se décompose à l'air.	Existant toujours et partout sous forme de couche cohérente, qui suit en quelque sorte la configuration de la superficie, sous la couche supérieure lavée de la croûte terrestre (sable plombifère) dans les forêts recouvertes de tourbe et des landes, 1 à 50 centimètres au-dessous de la superficie.

CARACTÈRE.	ÉTAT.
a) *Humusortstein* ferrugineux renferme de plus grandes quantités de fer que le sous-sol sous la couche.	Déposé dans les sols sableux, très pauvres en argile, dans la partie supérieure du sous-sol.
b) *Humusortstein* pauvre en fer (terre rouge) renferme de plus petites quantités de fer que le sous-sol sous la couche.	Déposé dans les sols sableux moins pauvres en argile, dans les sols silicéo-argileux ou argilo-sableux, dans le sol à une distance différente de la superficie.
C. — *Ortstein produit par la concrétion.*	
4. *Grès ferrugineux.* — Grès compact, dur, de couleur jaune brun, consistant en parties de squelette du sol (particulièrement du sable quartzeux) cimentées ensemble et entourées d'une enveloppe d'hydrate d'oxyde de fer (d'après Senft, d'un peu d'oxydule de fer et d'autres substances). Ne se décompose pas à l'air, ni par le traitement par la liqueur alcaline, mais bien quand on l'abandonne avec de l'acide chlorhydrique étendu, ou qu'on le traite à chaud par cet acide.	Dans la couche superficielle du sol sableux recouvert de tourbe comme aggrégats grumeleux de différente grandeur et forme. Vraisemblablement aussi de plus grandes parties cohérentes sur la place de l'*Humusortstein* dans le sol de landes humide.
5. *Fer limoneux.* — Terre poreuse, de forme semblable à une scorie, de couleur noirâtre, avec 80-95 p. 100 d'hydrate d'oxyde de fer (Senft). Rapport à l'air, l'alcali et l'acide égal environ à 4.	Masses grumeleuses, en forme de scories, dans les tourbières et les marais, enfin aussi dans le *Thonortstein*, où celui-ci apparaît près de la superficie humique et repose sur un sous-sol passablement impénétrable, aussi bien qu'en beaucoup d'autres places en partie ou temporairement isolées de l'air, notamment dans les couches du sol sableuses superficielles, influencées par les matières humiques.

Rapidité de la formation de la lande.

De quelque importance que puisse être aussi, pour la compréhension des transformations décrites dans le sol, une connaissance de la rapidité avec laquelle le changement s'accomplit en général, la solution de cette question, en tant qu'il s'agit des landes, doit rester indécise par suite du défaut de points de départ suffisamment sûrs pour le moment. En ce qui concerne la forêt de chênes, l'âge et le caractère du peuplement actuel fournissent des points d'appui

utilisables ; dans les landes, les dates correspondantes manquent. Comme mes efforts, pour explorer cette question, m'ont pourtant conduit à quelques observations et peuvent être probablement de quelque signification pour une étude poursuivie, je communique ci-après la partie la plus importante.

Déjà Vaupell a attiré l'attention sur les étendues de landes au voisinage de Viborg comme étant tout particulièrement appropriées à l'étude du boqueteau de chênes, et ce sont ces emplacements qui ont été aussi principalement l'objet de mes recherches, notamment la région autour de Finderup, où, à l'exception des forêts de Hald, il ne reste plus des grandes étendues de forêts dans lesquelles le roi Erik Glipping chassait en l'an 1286, immédiatement avant son assassinat, que des broussailles de chênes détruites et de peu d'importance. J'espérais pouvoir trouver dans cette contrée quelques éclaircissements historiques sur la transformation de la forêt en lande, mais je réussis seulement à rassembler quelques notices éparses ; vraisemblablement les archives de Viborg renferment plus de documents sur ce sujet. Sur la carte du *Amte Skivehuus* gravée en l'année 1800 et publiée par la Société des sciences, se trouve indiquée une grande étendue de forêts entre Stanghede et Vedhoved. De cette étendue, il ne reste dans la lande que d'insignifiantes broussailles détruites, connues sous le nom de « Falle Krat ». D'après les documents authentiques judiciaires des archives de Viborg, qui ont été examinés par le secrétaire de justice Morville, la forêt appelée Forêt de Fallitsgaard (*Fallitsgaard-Wald*), fut vendue à l'enchère, le 26 janvier 1799, pour 1,095 thalers de la banque royale, à la maison forestière (*Waldhaus*), et, au 19 août 1799, les arbres de cette forêt, en partie comme bois d'œuvre et en partie comme bois de chauffage, furent vendus à nouveau à l'enchère et, à la vérité, comme coupe définitive dans 58 parcelles. D'après le dire des vieillards, tous les arbres de cette contrée furent abattus en peu de temps. On peut juger que la forêt était pourtant vraisemblablement tombée déjà autrefois en décadence, parce qu'en l'année 1754 une vente aux enchères publiques de 279 arbres renversés par le vent avait eu lieu. Nous avons donc ici une étendue de la lande qui ne peut pas avoir beaucoup plus de 80 ans et d'aussi loin qu'on

se souvienne, il n'existe d'ailleurs que des recherches insuffisamment étendues sur cet emplacement, et le sol a ici le caractère prépondérant d'une lande de formation récente, particulièrement ainsi que le représente la figure 3 du tableau III, bien qu'il existe par places des étendues avec une différenciation plus grande dans les couches supérieures du sol. Lors de ma visite à cet endroit en l'année 1880, se trouvaient là, à beaucoup de places, des souches de chênes bien conservées dans les broussailles, dont le diamètre atteignait souvent 1 à 2 pieds ($0^m,3138$ à $0^m,6272$). La broussaille était elle-même en général chétive et rabougrie ; beaucoup de buissons s'élevaient à peine au-dessus de la bruyère et on en voyait rarement un dont la hauteur atteignait 2 pieds ($0^m,6277$), avec un diamètre de 4-6 pieds ($1^m,255$ à $1^m,883$). Le sol n'appartient ni au plus sec ni au plus maigre des landes de cette région.

Un peu plus loin vers le N.-E., au Sud du village de Finderup, se trouve un autre bosquet intéressant, qui, autrefois, a formé aussi une partie de cette étendue de forêts, je veux dire Findskov Krat ; il n'est pas indiqué sur la carte de 1800 dont on a parlé et la forêt a aussi, selon toute apparence, disparu antérieurement, ce que démontre tout aussi bien le sol que l'absence complète de souches de chênes dans ces broussailles. Je n'ai pu trouver aucune indication précise sur l'époque à laquelle cette forêt a disparu, mais sa position entre la forêt de chênes de Hald et la forêt de Fall, qui existait encore au commencement du siècle, situées seulement à un bon demi-mille de distance l'une de l'autre, comparée avec d'autres dates, rend vraisemblable que cette forêt a été anéantie il y a 150 à 200 ans. Ici encore, il n'y a à signaler aucune formation régulière de lande, comme sur les grandes étendues de landes homogènes des régions occidentales, mais pourtant elle a progressé beaucoup plus en un grand nombre de places que dans les parties examinées du boqueteau de Fall. Comme on l'a déjà mentionné, il existe de l'excellent terreau sous les broussailles, d'ailleurs basses, de Findskov Krat ; au voisinage immédiat de celui-ci, ou bien là où elles sont réunies toutes ensemble en plus grande quantité, le sol est le même que celui des jeunes landes décrit plus haut ; mais, à d'autres places, on trouve aussi bien des régions avec de l'ancien *Ortstein*

bien développé qu'aussi d'autres avec de bon et même d'excellent terreau, toutes tapissées d'une couverture uniforme de bruyères. Ces divergences, je ne les ai vues nulle part dans les vieilles landes des contrées occidentales et je pense qu'il y a là la démonstration d'une formation de landes qui a commencé plus tard; les places où l'*Ortstein* et le sable plombifère dans cette partie de broussailles se sont développés plus vigoureusement, étaient peut-être d'anciennes places de landes dans la forêt, comme c'était encore le cas, en l'année 1880, dans le boqueteau de Tykskov, dont la croissance arbustive et le sol expliquent, d'une façon très instructive, des restes de broussailles, comme Findskov.

Ces observations modestes, vraiment trop fragmentaires, sur les restes des forêts à l'Ouest de la forêt de chênes de Hald, démontrent que la formation de sable plombifère et d'*Ortstein* sous la bruyère progresse plus lentement que dans les forêts de chênes, dont la masse de déchets annuels, beaucoup plus grande et beaucoup plus riche en acides humiques, peut provoquer une augmentation plus rapide de la puissance de la formation de tourbe. Des observations faites sur un emplacement de tout autre caractère donnent des indications dans la même direction.

Sur beaucoup de points dans la lande, la superficie montre un caractère très irrégulier; le sol apparaît comme déchiré et forme une variété complexe de petites hauteurs et vallées qui, parfois, se présentent en petit sur la surface d'ailleurs uniforme de la lande comme un pays d'Alpes sauvage ou forment une chaîne de collines droite ou demi-circulaire. Quoique le terrain soit recouvert de la même végétation uniforme que les landes ordinaires, on remarque, en partie par le caractère de la superficie, en partie par les nombreuses formes de développement, qu'il consiste en dunes couvertes d'une végétation, des formations antérieures de sable mouvant, pour lesquelles le sol de landes ordinaire a fourni le matériel. Un examen de deux parties de sables de ce genre, recouvertes de végétation, sables de Birkebäk au voisinage de Holt et sables de Klövdal dans la plantation de Högildgaard, tous deux situés dans le Kirchspiel Rind, fournit les données suivantes sur la nature du sol.

Dans le sable de Birkebäk, les parties de dunes étaient recouvertes

d'une tourbe brune meuble, épaisse de 1 à 3 pouces ($0^m,0261$ à $0^m,0784$), recouverte d'une végétation de bruyère et de camarine noire (*Empetrum nigrum*), mélangée dans le fond avec l'*Hypnum*. Dessous gisait une bande de sable plombifère épaisse de 1 pouce ($0^m,0261$), faiblement caractérisée parfois, notamment dans les abaissements du sol, de couleur d'humus, sur une couche faiblement développée, d'une puissance de 2 à 3 pouces ($0^m,0523$ à $0^m,0784$) d'*Humusortstein* poreux et terreux, qui reposait sur un amoncellement de sable de lande jaune-rouge, de caractère ordinaire. La profondeur de cette dernière couche changeait naturellement d'après la hauteur de la dune : quand on creusait assez profondément pour atteindre le niveau de l'ancienne lande, on trouvait une couche bleu noir de l'ancienne croûte de lande épaisse d'un pouce ($0^m,0261$), dans laquelle la structure des plantes avait tout à fait disparu; à 3 pouces ($0^m,0784$) au-dessous, venait du sable plombifère blanc ordinaire et, enfin, entre celui-ci et le sable de lande ordinaire, une couche assez ferme et compacte, en partie noir brun de 3 à 4 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1046$) d'ancien *Humusortstein*.

Les figures 6 et 7 du tableau III donnent la représentation graphique de ces formations aux places où le sable amoncelé a seulement une puissance restreinte. La figure 7 montre, à la place d'une couche de sable ferrugineux sur l'ancienne croûte de lande, une couche analogue au sable plombifère, mince et décolorée, qui, évidemment, a contenu autrefois une formation d'*Ortstein* à son début (ce qu'indique la hachure de la couche), mais, plus tard, a été dépouillée de tout son fer, probablement sous l'influence de la couche de sable de l'ancienne croûte de lande très puissante, sur la couche mince de sable. D'après les communications précédentes sur les différents modes de développement des couches de sable plombifère et d'*Ortstein*, il est admissible que la formation de ces couches dans les dunes doit avoir eu lieu vraisemblablement de la même façon que dans le sol forestier argileux et, par suite, avoir eu, depuis le commencement jusqu'à présent, une puissance restreinte.

Nous avons ici, sans aucun doute, une nouvelle formation de tourbe de sable plombifère et d'*Ortstein* dans le sable déposé sur les anciennes landes; mais les nouvelles formations n'ont pas de

beaucoup atteint un développement égal à celui des landes enfouies, quoiqu'elles soient le résultat d'un développement vraisemblablement plus que séculaire [1].

Le sable de Klövdal paraît être bien plus ancien que le sable de Birkebäk; pourtant cette partie est tout à fait de même nature que la précédente, avec cette différence que la nouvelle formation d'*Humusortstein* et de sable plombifère est plus nettement indiquée par places, tandis que pourtant leur développement est beaucoup moindre que celui des couches correspondantes de la vieille lande sous-jacente.

Si on coordonne ces observations, il me paraît que l'on doit compter avec des siècles si l'on veut évaluer la durée du temps nécessaire à la formation des landes renfermant un *Humusortstein* noir et sombre nettement caractérisé; en tous cas, on ne peut, en aucune façon, mettre en doute qu'il est impossible de compter avec de plus petits chiffres à beaucoup de places du Jütland occidental. Mais pourtant l'observation ne conduirait sans doute pas à une estimation plus exacte de l'âge des landes, si l'on ne cherchait pas dans les tumuli un document de la plus grande valeur pour la solution de cette question.

Emeis a déjà, dans les *Waldbauliche Forschungen* (Recherches forestières), fourni par le tableau VII la démonstration irréfutable que la formation de lande typique avait atteint son complet développement avec tourbe, sable plombifère et *Ortstein,* déjà au temps où les tombeaux de géants (tumuli) furent découverts, car ceux-ci sont construits sur les couches en question.

On arrive au même résultat par un examen du matériel de construction sur cette colline, qui consiste souvent en une croûte de lande avec sable plombifère, ce dont j'avais souvent l'occasion de me convaincre lors de mes promenades dans la lande. Afin d'arriver à un éclaircissement plus complet de ce rapport, je fis enlever une paire de profils dans le merveilleux tombeau oriental qui fait partie

1. Tout près de la partie des dunes habite un forgeron très âgé qui a vécu toute son existence à cette place, ainsi que son père avant lui. Il affirme que depuis le commencement du siècle aucune transformation visible de la lande n'a eu lieu dans ce terrain.

des trois tombeaux de Hjortsballe, qui se trouvent dans le Kirchspiel Rind et sont visibles à une distance de plusieurs milles dans la lande. Des deux profils, dont l'un était prélevé à une profondeur de plus de 4 pieds (1^m,2554), il ressortit, indubitablement, que le tombeau, au moins jusqu'à cette profondeur, était construit de tourbe de lande complètement développée, et que les mottes de landes avaient été placées suivant la façon pratiquée aujourd'hui par les habitants des landes dans leurs terrasses, c'est-à-dire avec le côté de la terre vers le haut et la bruyère vers le bas : si bien qu'un profil, rendu lisse par l'époussetage, apparut semblable à un mur de briques dont quelques pierres d'un blanc grisâtre devenaient toujours plus noires vers le bas et qui était terminé par un bord d'une couleur sombre intense.

Le fait que le matériel de construction consiste en tourbe de lande avec un peu de sable plombifère ordinaire, se déduit des points suivants. Ce ne peut pas avoir été des herbes salines, parce que celles-ci, qui ne contiennent qu'une quantité pour cent très faible de matière organique, n'auraient pu laisser des bandes d'une coloration noire aussi intense. De plus, il ressort en partie de la coloration blanc gris de la masse terreuse et de son accord souvent très complet avec les couches dont on vient de parler dans les landes recouvertes de sable avec la tourbe et le sable plombifère (v. notamment tableau III, fig. 6), et en partie de la grande quantité de matière humique, qui ne peut provenir que d'une couche de tourbe, que cela n'a pas été non plus une terre sans tourbe ni sable plombifère recouverte d'une végétation de bruyère. Enfin, il est démontré de la façon la plus évidente que la couleur blanc gris n'a pu prendre naissance dans le cours des temps, dans ces mottes de landes âgées de deux mille ans, par la disparition du fer, par ce fait que sous les champs blanc gris, il s'en trouve quelques-unes qui ont tout à fait la même couleur que le sous-sol des landes et qui proviennent sans doute d'herbes ou de plantes salines, qui sont prélevées sur une surface où aucune formation de sable plombifère n'avait commencé et que le sol d'origine porta immédiatement la végétation. De telles plantes ne peuvent plus certainement se rencontrer dans les landes où se trouvent les tombeaux de Hjortsballe, et elles témoignent, à

cause de cela, en partie que tout le terrain qui entoure les tombeaux en question, a eu dans l'antiquité le même caractère que maintenant, en partie que les bruyères ou les herbes salines exemptes de sable plombifère ne peuvent pas prendre dans de telles conditions, au cours des siècles, l'aspect de la tourbe de lande réelle avec un côté de terre renfermant du sable plombifère.

Dans notre littérature archéologique se trouvent des annotations très différentes, sur ce fait qu'aussi bien les tombeaux de l'âge de bronze que ceux de l'âge de fer sont construits avec des mottes de landes, et, d'après cela, il est vraisemblable de penser que c'est le même matériel qui a été employé pour les tombeaux de Hjortsballe. Cela est le cas, par exemple, pour les célèbres tombeaux de Gorm[1] et, probablement, aussi de Borum Eshöi[2], Lille Drags Höi[3], Muldbjerget[4] et d'autres, qui, tous, reposent dans les contrées de landes du Jütland ou sur des places où la lande a pu exister, tandis que les tumuli dans les bonnes régions, principalement sur les îles, sont bâtis de terre ou de pierres, ou bien d'un matériel tout autre, que ne concernent pas nos recherches.

D'après cela, il me semble solidement établi, si l'on veut arriver à une compréhension du développement de sable plombifère et d'*Ortstein,* qui accompagne la formation de landes, qu'on doit tenir compte de la façon dont s'accomplit ce développement non seulement de notre temps, mais aussi de la façon dont s'est accompli celui qui s'étend vraisemblablement pendant des siècles loin dans la nuit des temps, et qui doit être envisagé comme un état caractéristique du sol pour les landes actuelles et qu'il s'effectue avec une rapidité très différente suivant la nature de l'emplacement et de la végétation prédominante, selon toute vraisemblance beaucoup plus rapidement dans les forêts que dans les landes.

---

1. Kornerup, *Kongehöiene i Jellinge.* Kbhn, 1875, p. 16.
2. Voyez Boye, *Samlinger til jydsk Historie og Typographi*, T. VI, Aalberg, p. 220.
3. *Loco citato,* p. 218.
4. Communication verbale du Dr Petersen.

Coup d'œil rétrospectif (Rückblick).

Nos études sur les sols naturels dans les forêts de hêtres, de chênes et dans les landes, aussi bien que les observations d'ailleurs un peu restreintes sur l'état du sol sous les différents groupes de végétation mettent en pleine lumière la puissante influence qu'exerce la vie organique sur la nature de la localité par l'état dans lequel sont amoncelées des masses de déchets organiques et transformées dans le sol. Nous voulons maintenant chercher à rassembler toute la série des observations faites dans un coup d'œil général sur les phénomènes examinés et leur signification.

Différences des couches de terre humique. — On arrive de plus en plus, dans les temps modernes, à reconnaître que l'ancienne théorie de la décomposition des restes organiques morts, considérée comme un simple phénomène chimique, une combustion avec formation d'acide carbonique, d'eau et d'ammoniaque comme résultat final de la transformation est exclusive, et l'on sait que les observations inaugurées par la magistrale découverte de Pasteur ont modifié notre façon d'interpréter le processus de putréfaction. Il semble cependant que les recherches relatives au vaste processus de décomposition, que nous désignerons par le terme : humification des matières apportées chaque année au sol par le monde organique, n'ont pas été assez approfondies. Il y a lieu d'attendre que l'étude de la relation de cette décomposition avec les organismes *humificateurs* tracera la voie à une nouvelle interprétation importante de ce processus. La belle découverte faite par Schlœsing et Müntz du microbe nitrifiant donne une idée de ce qu'on peut attendre dans cette voie : il semble cependant que nous manquons encore d'une base d'observations fondamentales sur les conditions naturelles des diverses formes d'humus, pour nous guider dans l'étude de ces difficiles problèmes. Il faut d'abord connaître le premier terme de cette transformation. L'action des organismes inférieurs, la loupe et le

1. Voir, par exemple, Tuxen, *Nyere Undersögelser over Salpeterdannelsen i Jordbunden* (*Tidsskr. f. Landökonomi.* R. V. T. II p. 201).

microscope doivent indiquer d'abord les traits plus bruts, avant que l'on se risque à une recherche de ce qui est presque invisible. Les observations communiquées me semblent pouvoir servir d'introduction à cette notion élémentaire.

Les masses de déchets organiques annuelles peuvent se déposer sur un sol sec dans une série extraordinairement grande de formes, qui, pourtant, se décomposent en plusieurs groupes principaux correspondant aux dépôts organiques indiqués par von Post dans l'eau douce. L'un de ces types, le terreau (*Mull*), peut être appelé humus koprogène (*koprogener Humus*), parce qu'il consiste principalement en excréments animaux, tandis que l'autre, la tourbe (*Torf*), doit être désigné comme humus végétal (*vegetabilischer Humus*), parce qu'il est formé principalement de restes de plantes indécomposés[1]. La concordance entre cette tourbe et la tourbe de marais (*Moortorf*) est telle que ces deux formations doivent être considérées comme parfaitement analogues et nous avons vu comment toutes deux peuvent dans les emplacements appropriés (forêt de Windum) se transformer peu à peu l'une dans l'autre. Le trait principal de leur développement est la circonstance que la vie animale qui forme la tourbe est exclue de l'emplacement; il est, au contraire, d'une importance secondaire que la faute en soit à une grande humidité, une grande sécheresse ou d'autres causes. Cela ne donne à la couche, au point de vue principal, un caractère différent qu'autant que les déchets des différentes formes de végétation influent sur sa composition; dans tous les cas, on peut l'appeler tourbe (*Torf*) avec plein droit.

---

1. Darwin a trouvé, en l'année 1837, que l'expression « animal mould » caractérisait le mieux la formation désignée par von Post sous le nom de « Koprogène ». Plus tard il n'a pas maintenu cette désignation, et comme il a à peine connu l'humus végétal, mais employé l'expression de « vegetable mould » pour désigner les couches koprogènes, il me semble qu'on doive à von Post d'accepter sa terminologie, parce que celle-ci repose sur une conception plus claire de l'origine dissemblable des différents dépôts organiques. Cet auteur compte aussi, à la vérité, ce qui me semble être assez incorrect, la tourbe parmi les formations koprogènes, parce que celle-ci renferme ordinairement une quantité d'excréments animaux. Je maintiens que sa teneur caractéristique en une grande quantité de végétaux non décomposés, qui forment chez quelques sortes de tourbe la partie tout à fait prépondérante de la masse, engage à opposer la tourbe comme une formation de nature principalement végétale aux gisements purement koprogènes.

La définition donnée par v. Post[1] de la tourbe pour la différencier des autres dépôts organiques dans nos eaux douces peut être employée mot pour mot pour la tourbe spéciale dont on parle ici sous le nom de « Torf » (tourbe), et les recherches communiquées expliquent seulement d'après cela la présence d'une série de masses de déchets sur le sec tout à fait analogues avec les formations d'eau douce indiquées par l'auteur en question.

Il est dans la nature des choses qu'entre l'humus végétal typique et l'humus koprogène, il se trouve une série interminable de formes de transition, car il y a bien peu de couches d'origine végétale qui n'aient pas été mélangées aussi bien avec des masses importantes de restes animaux et, d'autre part, tout humus koprogène est, en tous cas, dans ses plus jeunes stades, mélangé avec des amoncellements de plantes non décomposés; mais les types peuvent pourtant se distinguer aussi bien que d'autres types dans la nature.

Il est à peine nécessaire d'insister principalement sur le fait que les gisements d'humus végétaux, que nous avons désignés sous le nom de tourbe (*Torf*) empruntent à un haut degré leur caractère à la végétation, dont les déchets forment leur substance, et cela ressort suffisamment d'ailleurs des observations dont on a parlé plus haut sur la tourbe dans les forêts de chênes, les forêts de hêtres, les landes, les prairies salées, etc. La puissance, la structure et la fermeté des couches de tourbes, aussi bien que leur influence sur le sol sous-jacent seront d'après cela influencées à un haut degré par la nature particulière des masses de déchets chez chaque forme de végétation. Mais on doit surtout remarquer, en partie que certains emplacements forment principalement des places de gisement pour les tourbes, en partie que des formes de végétation différentes ont une aptitude différente à produire l'humus végétal, en partie enfin que celui-ci peut être déposé sous des formes de végétation très différentes, sans, d'autre part, être l'unique forme d'humus pour chaque végétation ou chaque emplacement quelconque. On est d'après cela autorisé à conclure que la formation de l'humus végétal dépend d'un autre facteur, qui n'est pas nécessairement lié à

1. *Passim*, p. 26 et suiv.

l'emplacement ou à la végétation, et relativement aux observations communiquées, on doit, ce me semble, admettre avec plein droit, que la présence ou l'absence d'une vie animale est la cause qui, dans la plupart des cas, conditionne le développement du premier membre dans la décomposition des masses de déchets organiques. D'après cela, la condition nécessaire pour la formation de l'humus végétal est une condition négative, c'est-à-dire que c'est l'absence ou un développement trop misérable des groupes d'animaux, qui provoque l'humification à d'autres places. Cela apparaît peut-être de la façon la plus claire dans les forêts de chênes sur sols sableux. Ici, la végétation favorise seulement à un degré restreint la formation de tourbe, qui, à cause de cela, se développe sporadiquement et est composée de l'ensemble des masses de déchets du monde organique, ce qui fait que la végétation elle-même ne livre directement aucun matériel très essentiel.

Les dépôts koprogènes reçoivent leur caractère en partie de l'état des masses de déchets organiques, en partie de l'activité de la vie animale présente, ou bien de la façon dont la faune terrestre exécute l'œuvre de destruction qui produit l'humification. Comme une innombrable quantité des animaux articulés des classes des insectes, aranées (*Araneen*), myriapodes et crustacés, apparaissent pour ainsi dire partout en troupes, partiellement dans les parties de la végétation qui se trouvent au-dessus de la terre, aussi bien dans les cimes des arbres qu'aux sommets des bruyères, partiellement sur la superficie et dans les couches superficielles de la terre, les excréments des animaux articulés ne manqueront donc dans aucun dépôt humique et notre analyse microscopique a donné une démonstration générale de ce fait. Seulement, le fait que la couche d'humus doit emprunter son caractère réel aux excréments d'arthropodes, dépend de différentes circonstances. Sur l'un des côtés, les déchets végétaux peuvent, à vrai dire, être amenés annuellement en une telle quantité et avoir un caractère tel que la population d'arthropodes de l'emplacement ne peut pas consommer toute la masse, ou sur l'autre elle ne trouve pas une nourriture suffisante pour son complet développement. C'est le cas pour la tourbe de bêtres sur la haute crête montagneuse, constamment balayée par le vent, pour la

tourbe d'épicéas avec ses aiguilles raides, sèches et riches en matières chevelues et pour la tourbe de bruyère avec ses déchets insuffisants, qu'une vie animale extraordinairement misérable ne peut pas complètement transformer ; mais à cela s'ajoute encore que le système de racines superficiel de la végétation prépondérante contribue à un haut degré à l'augmentation des éléments non décomposés de la masse, si bien que celle-ci, malgré son mélange avec des éléments koprogènes, prend pourtant le caractère d'humus végétal. Mais où, d'autre part, les conditions qui produisent ce résultat ne prédominent pas si fortement, ce sont alors les excréments d'arthropodes qui font la plus grande partie de la masse. Ainsi sont les formations de tourbe dans les jeunes forêts de perches de massifs de hêtres élevés en futaies pleines, moins poreuses à cause de la plus grande quantité d'excréments d'insectes que dans les forêts de hêtres éclaircies avec de vieux arbres et dans les groupes de jeunes semis de hêtres de 20 à 30 ans, la masse peut prendre le caractère d'un terreau d'insectes pur. Cela peut aussi, comme nous l'avons vu, être le cas d'une forêt de chênes de croissance défectueuse, dont la masse de déchets est plus petite que celle de la forêt de hêtres, et dont le système de racines contribue seulement à un degré restreint à la masse de la couche d'humus.

Quoique ainsi le monde des arthropodes joue dans la première destruction des déchets organiques un rôle considérable, les couches d'humus koprogène, qui sont formées à un degré tout à fait prépondérant par ces classes d'animaux, n'existent pourtant que dans un cercle relativement restreint et assez sporadiquement. Cela est évidemment dû à ce que le développement de ces formations est limité d'un autre côté par un troisième facteur, le travail accompli par les vers de terre. Il semble, à vrai dire, que ce soit un cas exceptionnel quand les conditions locales, favorables au développement de l'humus d'arthropodes, ne favorisent pas en même temps le travail des vers de terre, qui poursuivent rapidement l'œuvre d'échange entreprise par les insectes et empêchent la formation de plus grands amoncellements d'excréments d'arthropodes.

De tous les gisements humiques koprogènes, celui qui s'étend au plus loin sur le sec est par suite le terreau formé par les vers de

terre. Si l'on fait abstraction de l'humus d'arthropodes à peu près pur, moins répandu et qui n'existe que sporadiquement et que l'on considère les phénomènes dans leurs traits principaux, on peut alors dire que l'humus végétal dans ses différentes formes et le terreau formé par les vers de terre se partagent entre eux le terrain occupé par le sol naturel.

Ce qui montre que ce terreau doit être envisagé comme une formation réellement koprogène, c'est d'abord sa structure et, de plus, notre connaissance du mode d'existence des vers de terre. La couche superficielle du terreau, formée en dernier lieu, consiste incontestablement en excréments de vers de terre, ce que montre un simple examen à l'œil et qui de plus est renforcé par l'observation que la grandeur et l'état des grains de la superficie changent, suivant les espèces de vers de terre prépondérantes dans l'emplacement. Ainsi, nous avons trouvé une structure graveleuse fine dans le Skarrild Krat, où seul habite le *Lumbricus purpureus*, et une structure graveleuse grossière dans le Tykskov Krat, où vit en même temps le *Lumbricus rubellus*, quoique le sol consiste aux deux places en sable de lande très maigre et sec. Deuxièmement, il n'est encore jamais arrivé d'indiquer une autre cause naturelle de l'état de mélange particulier du sol dont a parlé, avec sa consistance restreinte caractéristique, ou, suivant la désignation adoptée ordinairement, sa parfaite porosité, comme résultant de la digestion des vers de terre et de leur fouillage ininterrompu de la terre. Le mélange produit par l'eau a un tout autre caractère et est facile à distinguer de celui produit par les vers de terre, qui, comme on l'a dit d'une façon détaillée dans la première partie de ce travail, est le moment le plus important de son activité à former la tourbe. Troisièmement enfin, les couches de terre humique ne prennent jamais le caractère du terreau poreux, là où le ver de terre manque ; enfin, on trouve là soit de l'humus d'arthropodes, soit de l'humus végétal. Comme complément à ce dernier point, je pourrais ajouter que j'ai trouvé partout des vers de terre, dans les emplacements les plus différents, où existe du terreau typique. Cette observation n'exclut pas toutefois — comme expérience de pensée pure (*Gedankexperiment*) — l'explication donnée par d'autres (dont on parlera plus

loin), que les vers de terre sont seulement les habitants et non pas les producteurs de cette forme d'humus; mais, conjointement avec les trois moments précédents, ce quatrième sera une démonstration de la plus grande valeur pour la justesse de notre conclusion.

Quoiqu'il me paraisse indubitable que le terreau poreux doive être envisagé comme une couche koprogène, qui est redevable de son caractère principalement aux vers de terre, on ne doit cependant pas cacher qu'il n'est jamais arrivé, pas plus à moi qu'à un autre, de résoudre toutes les questions ayant rapport au sujet traité ici, et notamment la question de savoir si tout le sous-sol ou seulement une partie de celui-ci a passé par l'intestin des vers de terre, par conséquent doit être compté comme appartenant aux formations koprogènes, n'a pas encore été éclaircie. Nous reviendrons plus tard sur cette question. Si notre conception est juste dans son entier, alors une relation déterminée entre l'existence des deux types d'humus et les circonstances qui doivent conditionner et favoriser l'extension locale des vers de terre, doit s'indiquer. Quoique notre connaissance du dernier point soit encore très défectueuse, nos observations donneront pourtant des indications qui confirment l'ensemble de notre interprétation.

Il semble qu'aucun sol de notre pays portant une végétation, — à l'exception du terrain marécageux et des dunes de sable sèches, — soit inhabitable pour les vers de terre, car ces derniers existent, ainsi que nous l'avons montré, sur les emplacements les plus différents, depuis les sols limoneux humides et les marais tourbeux jusqu'aux buttes de sable élevées, riches et maigres du Jütland. Mais leur masse devient plus grande et leur travail plus intense partout où le sol est ombragé par la forêt et la broussaille ou recouvert d'une riche végétation de bruyères et où l'emplacement est plus protégé. D'un autre côté, une limitation de l'ombragement et de la protection chasse rapidement et complètement la population des vers de terre, suivant le degré auquel l'emplacement est, suivant sa nature, exposé au desséchement et à l'échauffement. Du sol sableux, des crêtes montagneuses exposées au vent, des versants du Sud ensoleillés, de croissance végétale misérable, des superficies de

terre sombres, qui favorisent l'échauffement du sol sous l'action puissante du soleil, tout cela restreint, d'après les expériences acquises, la quantité des vers de terre ou limite leur existence. Ces mêmes conditions favorisent la formation de la tourbe, et les observations sur l'existence des vers de terre concordent parfaitement avec ce que l'on sait de la prédilection de ces animaux pour l'ombre, l'abri contre le mauvais temps et l'humidité du sol ; la sécheresse et la lumière directe du soleil les tuent rapidement. Pour les landes, s'ajoute peut-être encore à cela le rude climat nocturne avec le fort rayonnement, qui fait que pas un mois de l'année dans ces régions n'est exempt de gelée, ce qui doit être particulièrement important pour des animaux nocturnes à peau tendre comme les vers de terre. Les parties occidentales des forêts de chênes sur sol sableux tombées en décadence, où la forêt avec sa végétation s'est transformée en broussailles de chênes avec des espaces intermédiaires couverts de bruyères, semblent offrir un des exemples les plus instructifs du rapport des vers de terre avec l'écran et l'ombragement. Le taillis isolé de chênes avec sa ramure noueuse et son dais épais de feuillage protecteur offre une localité qui, avec des conditions changées, correspond aussi près que possible à la forêt de chênes avec son bosquet riche en fleurs et c'est pour cela que les vers de terre se retirent dans ces restes, quand leur demeure d'origine, la forêt, tombe en ruines, ce qui permet l'accès libre du soleil et du vent. D'après toute la série des observations, on est donc en droit de conclure que le principe, fondé sur l'expérience, extrêmement ancien en sylviculture, que tout ce qui sert à ombrager et à protéger le sol, favorise sa porosité et sa fertilité, n'a de signification qu'autant que cette condition rend l'emplacement habitable pour les vers de terre.

Mais, en dehors de la nature de l'emplacement, la nature de la végétation semble aussi avoir une influence sur l'existence de ces animaux. Ils sont présents en plus grande quantité sous une végétation de plantes éricinées et disparaissent là plus lentement que sous une couverture composée presque exclusivement d'espèces ligniformes, il semble que le phénomène suivant se manifeste en même temps dans la forêt : la végétation éricinée du sol de l'essence de

lumière donne asile à un plus grand nombre de vers de terre que les massifs d'essences d'ombre. Les peuplements de chênes, de pins sylvestres et de bois tendres (notamment les trembles et les sorbiers des oiseleurs qui ont la vie dure, qui sont dans les forêts de chênes des contrées sableuses des essences de mélange si importantes), des prairies et des champs d'herbes sont en moyenne plus fortement peuplés par ces animaux que les forêts de hêtres, les forêts d'épicéas et les landes de bruyères. Quant à la question de savoir si cela est en relation avec la prédilection des vers pour certaines sortes de nourriture, ou si c'est seulement l'influence de la dernière forme de végétation nommée sur le degré d'humidité du sol en vertu de son système de racines superficiel qui est la cause de cette différence, elle doit provisoirement rester indécise, mais il est établi aussi fermement que ces groupes de végétation perdent fréquemment leurs habitants terrestres et sont des plus aptes à former la tourbe.

Influence des formes d'humus sur les sols. — Aux formes principales, typiques des gisements humiques correspondent si généralement certains états caractéristiques dans le sol immédiatement sous-jacent, qu'on doit considérer celles-ci soit comme des actions de causes communes, ou placer les dernières en relation avec les premières, comme l'action avec la cause. Sous certains rapports, ces deux considérations sont justifiées.

Sous le terreau poreux, habité par les vers de terre, se trouve le *Thonortstein* décrit plus haut, dont, à la vérité, le développement n'est pas partout homogène, mais qui pourtant dans un sol argileux est extraordinairement fréquent et très étendu. Cette couche ne doit pas, à la vérité, sa structure et sa fermeté directement à la forme d'humus, parce que, sans aucun doute, elle est produite dans le sol par un transport de l'eau, mais le lien entre ses places de gisement et les facteurs qui ont produit la couche sus-jacente de terreau est d'autant plus étroit. Car, seulement la circonstance que les masses de terre en forme de terreau déposées sur le *Thonortstein* ont empêché l'affaissement en une couche compacte dans laquelle l'action de limonage (*Schämmungsakt*) de l'eau doit boucher les pores et cimenter les fentes, rend possible que cette activité puisse laisser

derrière elle des traces dans la couche superficielle du sous-sol dans la formation du *Thonortstein*. Nous ne connaissons jusqu'ici que le ver de terre comme pareil facteur ameublissant et nous avons vu que là où celui-ci disparaît du sol limoneux, la couche superficielle de ce sol est tout aussi dure et ferme que le *Thonortstein* (*Telgstrupper Gehege*). Ce doit donc être l'action des vers de terre qui fait que la couche entière du sol gisant sur le *Thonortstein* se laisse facilement détruire au creusement, comme de la fine terre de jardin travaillée, où les outils ne donnent pas de grumeaux, que ce soit enfin les racines des plantes qui cimentent les particules de terre ou une grande quantité d'argile qui rende le sol limoneux et c'est aussi l'étendue du travail des vers de terre, la puissance de la couche koprogène qui en résulte, qui détermine la place du *Thonortstein* et avec cela en partie la profondeur du terrain.

Malheureusement, le défaut d'une connaissance suffisante du mode d'existence des vers ne permet pas d'établir cette loi avec la même certitude que la plupart des autres résultats, que nous pensons pouvoir déduire de nos observations. Si l'on veut suivre la conception de Darwin, ce que l'auteur n'est pas, à franchement parler, en état de faire, alors on doit aller de toute la couche supérieure du sol sur le *Thonortstein,* que Darwin ne connaît d'ailleurs pas, jusqu'à la superficie produite par les vers de terre et par conséquent à travers le canal intestinal de ces animaux, par quoi cette couche serait une couche koprogène dans le sens le plus strict du mot. Mais si l'on pense pouvoir aussi continuer à interpréter les nombreux faits qui parlent contre et sur lesquels nous reviendrons plus tard, alors pourtant l'observation directe de l'activité des vers, de pair avec les observations sur la structure de la couche, montre qu'elle a pris naissance sous la puissante influence de la population des vers, qui s'exerce sans relâche, et conservé ses propriétés typiques. Je ne mets pas en doute, à cause de cela, que la loi en question soit juste en général et que des études poursuivies sur le mode d'existence des espèces de vers prises en particulier, éclaireront les points obscurs, à la compréhension desquelles on doit arriver, avant qu'une démonstration absolue de la justesse de nos conclusions puisse être donnée.

Nous pouvons avec une plus grande confiance, dans ce coup d'œil rétrospectif, coordonner nos observations sur l'influence qu'ont les couches de tourbe sur le sol sous-jacent et formuler des conclusions certaines. Là où les couches du sol des formations glaciaires, qui forment la partie tout à fait prépondérante de notre pays, par l'activité de limonage de l'eau ont été en partie dépouillées de leur argile et par cela en même temps de leurs bases minérales, principalement du fer, ou bien là où il y a eu un enlèvement par lavage de cette matière dans les sols très pauvres en argile comme les sols de landes, la couche de tourbe filiforme et riche en acides humiques occasionne partout la formation de sable plombifère et d'*Ortstein*. Ce processus peut, à la vérité, suivant la nature de la tourbe et la richesse originelle du sol, prendre un cours très différent ; mais il ne fait jamais défaut soit dans les cas où le sol est particulièrement riche en matières inorganiques, qui peuvent diminuer la formation du sable plombifère, comme, par exemple, là où les éléments de la formation crétacée sont fortement mélangés, soit dans le cas où cette formation est argileuse et repose immédiatement sur le granit qui peut fournir aux acides humiques un nouveau supplément de matières cimentantes.

Nous voyons d'après cela que la vie organique, par les formes dans lesquelles s'accomplit l'humification, a une signification prépondérante pour la nature de la croûte terrestre recouverte de végétation dans l'état naturel, et on peut la considérer comme un important témoignage de cette conclusion à laquelle la recherche conduit en toute certitude, que tous les procédés contribuant à la formation de l'*Humusortstein* peuvent être attribués à ce changement dans la consistance du sol et du dépôt des matières humiques, qui doit être une suite naturelle de l'arrêt du travail de fouillement et de mélange des vers de terre.

Effet rétroactif des formes d'humus sur la végétation. — Si l'on dirige son regard sur le caractère que les différents gisements humiques donnent avec leurs divergences variées à la végétation de l'emplacement, son influence acquiert une signification extraordinairement élevée au point de vue de la géographie végétale, de l'agriculture et de l'économie.

Dans la première partie de ce travail, on a appelé l'attention sur la végétation différente que porte le sol de tourbe et de terreau dans les forêts de hêtres, dans les vieilles forêts de chênes sur sol sableux. On constate plus loin une différence importante, caractérisée surtout par ce fait que la flore vraiment magnifique du terreau se réduit sur la tourbe à une végétation consistant en un petit nombre d'espèces de plantes dont les formes pourtant ne paraissent pas aussi complètement exclues du sol de terreau de ces forêts que la flore de la tourbe des parties en forme de terreau du meilleur sol.

Dans la lande, les plantes éricacées sont aussi différentes sur les deux formes d'humus et enfin, nous pouvons encore rappeler le changement des flores sur les prairies salées. Mais cette influence entière prend un caractère beaucoup plus grandiose, si notre attention se porte sur les plantes vivaces, notamment les arbres. Le sol recouvert de tourbe est tout à fait défavorable à la plupart des arbres, si le rapport relativement à tous les arbres ou à toutes les différentes formes du type de tourbe n'est pas aussi tout à fait le même. Mais la régénération est beaucoup plus difficile sur la tourbe que sur le terreau; les bois feuillus réussissent au plus mal là où la première forme d'humus prédomine et notamment, il semble que cette essence, dont les déchets recouvrent le sol à l'état d'humus végétal et dont les racines mêmes forment un tissu à travers la couche, ait ordinairement à combattre contre des difficultés insurmontables relativement au rajeunissement naturel. Mais, en même temps, comme on se le rappelle, la formation de tourbe exerce une très grande influence sur la forêt déjà vieille, en voie de croissance, dont les arbres ont un feuillage mince et des cimes desséchées, et quand il s'ajoute à cela d'autres circonstances malfaisantes comme un climat rude et des champignons parasites, elles périssent rapidement et abandonnent le champ aux différents représentants de la famille des éricacées, qui sont les principaux habitants parmi le monde végétal sur le sol revêtu de tourbe.

Un passage d'un sol en forme de terreau à un sol tourbeux a pour cela la même signification, avec un changement complet de la végétation prédominante et, à la vérité, aussi bien de la végétation

de bruyères que de la végétation arbustive. Dans la forêt, le passage entraîne ordinairement avec lui un changement nécessaire dans l'essence, quand la forêt ne disparaît pas tout à fait, comme c'est le plus souvent le cas là où, dans notre pays, la nature reste abandonnée à elle-même, la formation de lande est le résultat final des transformations qui ont eu lieu dans le sol, qui toutes peuvent être ramenées à des changements dans l'état des gisements humiques.

Formation de landes. — D'après la conception exprimée plus haut, la formation de landes n'apparaît pas comme un phénomène isolé, mais elle doit être envisagée comme un membre unique, en aucune façon essentiellement particulier dans toute la série des formes, qui permet l'action d'échange réciproque entre le monde organique et le sol. Cela apparaît aussitôt que nous renonçons à la signification purement populaire ou géographique du terme *Haide* (lande ou brande) envisagée comme un pays désert, sans arbres, inculte et portant une végétation de bruyères, et que nous cherchons une définition de cette expression au point de vue géognostique et de la géographie végétale.

Sous le rapport de la géographie végétale, on pourrait peut-être trouver au premier coup d'œil une désignation caractéristique pour la lande avec l'absence complète de végétation arbustive et la végétation de bruyères homogène. Il ressort d'un examen plus exact que ces indices ne représentent pourtant pas un moment d'une signification essentielle dans les particularités de l'emplacement. Premièrement, on sait que la bruyère prédomine parfois sur un terrain, qui ne peut pas du tout être appelé lande proprement dite (*eigentliche Haide*), comme, par exemple, les parties sèches des tourbières. Mais, deuxièmement, d'après cette définition la lande devrait comprendre aussi les contrées, en forme de terreau, dépourvues d'arbres, recouvertes de bruyères, dont le caractère de landes est tout à fait prépondérant, ou pourtant peut-être aussi parce que la végétation arbustive en est bannie provisoirement par une réunion particulière de circonstances. Sur de tels espaces de landes, la forêt a pu conquérir à nouveau le sol, aussitôt qu'il est enclos et assuré contre un traitement imprévoyant. Nous avons vu que le sylvicul-

teur habile ne rencontre en de telles places aucune difficulté et la forêt peut s'étendre, même ici dans notre pays, aux frais de la lande (*Bornholms Almende*). Nous avons cependant dans le Danemark rarement l'occasion de remarquer cette invasion des essences forestières dans la lande, parce que la plupart des parties de landes en forme de terreau pendant la dernière génération ont été cultivées ; mais de grandes étendues du Jütland central ont appartenu à cette catégorie, sur lesquelles les premiers pionniers de la forêt, les trembles, les bouleaux et les pins sylvestres, conquirent peu à peu le terrain, quand ils furent entourés d'une haie : j'ai eu l'occasion, dans les régions forestières de l'étranger, d'observer ce phénomène. La différence que nous avons remarquée dans la lande en forme de terreau et recouverte de tourbe entre les plantes du sol peu apparentes, à moitié cachées sous les deux couvertures de bruyères communes, peut caractériser ainsi de grandes différences entre deux contrées, comme emplacements au point de vue de la géographie végétale.

Sous le rapport géognostique, la formation d'*Ortstein* est le moment déterminant, et nous pouvons — d'après la conception de l'histoire du développement de l'*Ortstein* qui ressort de nos recherches — y ajouter la formation de tourbe et de sable plombifère, inséparable de l'*Humusortstein*. Mais, à la suite de nos observations faites dans les forêts, ces gisements ne peuvent pas du tout être considérés comme lande proprement dite, parce qu'il existe des formations tout à fait analogues à un grand nombre d'autres places que dans les contrées de landes, notamment dans les forêts de hêtres.

La lande doit, considérée au point de vue géognostique, être envisagée comme une des formes que prend le sol naturel, là où la vie organique donne lieu à un dépôt d'humus végétal. C'est à ce point qu'on doit attacher l'importance principale, comme étant à nos yeux la cause particulière de la différenciation caractéristique de la formation de landes dans la couche supérieure du sol. A ce point de vue, la forme de la végétation, bruyère ou forêt, etc.; donne seulement une variété de sous-ordre du type principal. Mais comme, ainsi que nous l'avons vu, le caractère du premier membre de l'hu-

mification dépend principalement des facteurs qui préparent le procédé de destruction et si, à la vérité, celui-ci est exécuté essentiellement seulement par des champignons saprophytes, ou de préférence par des animaux, et de plus si ce sont les vers de terre qui effectuent le mélange ou seulement les formes d'arthropodes destructrices qui accomplissent ce travail, alors la formation de la lande est en tous cas essentiellement l'expression de l'influence exercée sur le sol même par les organismes peu apparents qui vivent dans la croûte terrestre et elle devient ainsi un membre dans la grande série de circonstances qui produisent ces organismes de la terre dans le sol naturel : *La formation de lande est un produit de la vie organique.* Cette conception ne me paraît pas expliquer seulement l'état actuel du sol de la lande, mais aussi l'histoire du développement de la lande.

Nous répétons à nouveau qu'il est reconnu que les landes jütlandaises ont pris naissance aux frais des forêts de chênes de ce pays, et nous avons donné d'innombrables preuves du fait que celles-ci ont, dans chaque cas, recouvert des étendues très considérables des contrées de landes aujourd'hui nues. D'après cela, l'histoire de la lande est en partie une histoire de la forêt de chênes et c'est la reconnaissance de ce fait qui a engagé l'auteur à étudier la formation de landes juste dans le peu de restes existant encore de cette végétation disparue pour la plus grande partie.

Il est indéniable que la disparition de l'ancien peuplement de chênes dans les régions sableuses du Jütland est due à plusieurs causes. Le vent d'Ouest joue pour cela un rôle prépondérant et nos recherches, décrites plus haut, sur l'état de la forêt de chênes de Hald au côté ouest, montrent suffisamment comment et avec quelle force le vent d'Ouest tue les chênes. A cela s'ajoute le phénomène bien connu, qu'il existe encore dans les parties élevées du Jütland central d'importants restes de forêts sur le penchant exposé à l'Est, tandis que le côté ouest est nu, ce qui peut souvent offrir à celui qui contemple un paysage jütlandais, dans ses traits grandioses, une image de l'influence du vent d'Ouest sur le peuplement forestier. Si l'on ajoute encore à cela les nombreux témoignages des coupes imprévoyantes de la forêt dans ces régions dues au grand dévelop-

pement de l'industrie du fer[1] au moyen âge dans le Jütland central et à la grande consommation du bois qu'elle nécessitait, si l'on pense enfin aux innombrables incendies de forêts, qui encore, de mémoire d'homme, ont dévasté les étendues forestières du Jütland occidental[2] et détruit à une époque plus récente les forêts dans tout Harden[3], on comprendra alors facilement que les peuplements de chênes, en général assez pauvres en tiges, ont disparu dans le cours des temps.

Seulement l'exploitation ou la destruction des arbres d'une forêt n'a pas absolument la même signification que l'anéantissement de la forêt même. Là où le sol n'éprouve pas en même temps un changement, un jeune repeuplement naturel germera à nouveau et il se formera une nouvelle forêt, même s'il existe un fourré suffisant; l'immigration de la bruyère sur le terrain dénudé n'aura pas inévitablement pour suite la disparition de la forêt, mais elle peut donner lieu à une prise de possession de la surface par d'autres essences. Pas une fois, à mon avis, le vent d'Ouest si redouté ne pourra amener la disparition complète de la forêt, car son action sur des arbres qui ont poussé en massifs élevés en futaie pleine (*geschlossene Trupp*), se fait sentir même sur des places non protégées, seulement à la limite extérieure occidentale de l'emplacement, tandis que son influence sur la forme et la hauteur des arbres, déjà à une distance de 400-600 pieds (125^{m},50-188^{m},31) de cette limite, a complètement disparu[4]. Tandis que les conditions dont on vient de parler ont détruit la végétation arbustive, la forêt doit même, par la transformation du sol qui s'y rattache, être conduite à la ruine, dont nous pensons avoir retrouvé les traits prin-

1. C. Nyrop, *Dansk Jern* (*Histor. Tidsskr.* R. IV. T. VI 1877-1878, p. 125-162.

2. Le Dr Poulsen, propriétaire du *Linaa Versterskov*, près Silkeborg, m'a communiqué que cette forêt avait été, dans la dernière génération, ravagée quatre fois par de grands incendies et chacun d'eux a transformé une étendue de forêts en lande.

3. Voyez, par exemple, Bergsöe, *Den Danske Stats Statistik*. T. II Kbhn. 1847, p. 203.

4. D'après des mesurages faits dans la forêt de chênes appartenant au Bien Estrup (*Gute Estrup*), qui se tient sur de bon sol, mais est très exposé au vent d'Ouest, et se trouve environ au milieu, entre Kolding et Esbjerg, contrée où il est la haute futaie occidentale proprement dite.

cipaux dans la forêt de chênes de Hald et dont les différents stades ont laissé leurs traces dans beaucoup de broussailles de chênes encore présentes dans la lande. Nos observations nous autorisent à conclure que la destruction de la végétation arbustive influençait la faune terrestre de telle façon que par cela le caractère de l'humification a subi un changement; les vers de terre ont disparu et le terreau formé par ces animaux ne contient pas d'humus tourbeux, qui alors serait la source de l'autre état si caractéristique au sol de la lande.

Enfin, il ressort des observations communiquées, que l'histoire de la formation de lande comprend des milliers d'années; déjà au temps de l'âge de bronze, il y avait des landes dans le Jütland, peut-être aussi beaucoup plus tôt, et si seulement on pense que toute la formation s'étend durant de très longues périodes, on comprendra comment un processus de développement en général aussi lent a pu si complètement transformer en landes un paysage de 100 milles carrés comme le Jütland, ainsi que cela est arrivé. On verra pourtant que, d'après notre conception, la supposition n'empêche pas que, sur certaines parties dans ces contrées, vraisemblablement les plus sèches, le plus souvent exposées au vent, ou les plus chaudes, l'humus koprogène ne s'est jamais développé, si bien que la formation de la lande actuelle, avec son humus tourbeux, peut-être pendant la période de landes (*Steppenperiode*) qui, d'après la recherche de J. J. Steenstrup[1], a pris place dans notre pays entre l'époque glaciale et celle des forêts de pins sylvestres, peut très bien s'*appuyer* à l'époque glaciale.

Avant pourtant que nous nous arrêtions à cette conception développée dans ce coup d'œil retrospectif, et que nous osions utiliser celle-ci comme avertissement pour la sylviculture pratique, nous devons la comparer avec le résultat des recherches entreprises par d'autres sur le même sujet.

---

1. D'après un rapport imprimé dans le *Naturhistorische Verein*, à Kopenhagen, en 1879.

DISCUSSION

Formation de lande.

Dans la première partie de ce mémoire, il n'a été fait mention de la lande et de la littérature qui traite de cette formation si pleine d'importance pour notre pays, qu'autant que c'était nécessaire pour la comparaison des conditions du sol existant sous la tourbe dans les forêts de chênes avec le sol correspondant de la lande; nous voulons à cause de cela nous orienter dans le cercle des observations et des conceptions qu'offre la littérature sur les phénomènes de la même famille que la formation de lande.

Caractère du sol de lande. — Les conditions naturelles des landes jütlandaises étendues ont été déjà auparavant l'objet de l'observation et de l'étude et ont été décrites plusieurs fois d'après l'atlas de Pontoppidan [1] depuis cette époque jusqu'à nos jours. L'intérêt qu'on a commencé à attacher, à la fin du siècle précédent, aux plans de mise en forêts de ces espaces nus, dirigea aussi autrefois l'attention des forestiers sur celles-ci et le premier auteur danois, Esaias Fleischer, qui a traité d'une façon détaillée la sylviculture, ne traite pas non plus des étendues de landes [2]. Les auteurs du dernier siècle, Pontoppidan, N. Blicher [3], Es. Fleischer et d'autres [4], n'ont cependant donné qu'une description très superficielle du sol de lande, et n'ont cherché aucune explication de son mode de formation. L'opinion de ces auteurs était, lorsqu'ils s'exprimaient surtout sur ce point, que le fer est le ciment de l'Ortstein (Pontoppidan, v. Aphelen, Fleischer).

Dans ce siècle, au contraire, la connaissance du sol des landes a beaucoup plus progressé. Déjà, en 1802, le capitaine Selmer donna, dans son *Efterretninger om Ahlhedens og Randböllehedens almin-*

1. E. Pontoppidan, *Danske Atlas,* 1763, T. I p. 399.
2. E. Fleischer, *Forsog til en Undervisning i det Danske og Norske Skov-Väsen*, Kbhn. 1779 p. 538-540.
3. *Topographie over Vium Prästekald.* Wiborg, 1795, p. 35.
4. Anonyme dans *Oeconomisk Journal,* 1758, p. 20.

delige Beskaffenhed[1], une représentation du sol de lande si bien faite, qu'à mon avis, elle compte parmi les meilleures qui existent. « Sous une terre de tourbe épaisse de 3 à 4 pouces ($0^m,0784$ à $0^m,1046$) », dit-il, « gît à 3-16 pouces ($0^m,0784$-$0^m,4284$) du sable blanc. Puis après, suit l'Ortstein noir, qui a ordinairement une épaisseur de deux pouces ($0^m,0523$) et sous celui-ci de l'Ortstein rouge. Si l'on dissout l'Ortstein noir dans l'eau, il se décompose alors en un fin sable blanc, qui se précipite et en une fine matière noire qui brûle comme la terre de tourbe, et pendant la combustion, on sent une odeur de fumée de tourbe, ce qui semble démontrer que l'Ortstein noir a son origine dans le royaume végétal, peut-être de telle façon que la surface superficielle de la terre tourbeuse qui porte une végétation de bruyère a été autrefois recouverte de sable mouvant... et ainsi dans le cours des temps est devenue la matière dure actuelle. L'Ortstein rouge ne se trouve jamais tout seul dans ces landes, mais toujours immédiatement sous l'Ortstein noir et là où le sable rouge est proche voisin de la couche de terre tourbeuse, où bien là où il n'y a pas d'Ortstein noir, on ne trouve aucun Ortstein. De là, il semble ressortir que le sable rouge est ici la matière première ou fondamentale et que l'Ortstein rouge est formé de celle-ci au moyen du liquide noir qui s'infiltre.

Selmer a donc reconnu la nature humique des éléments qui cimentent l'*Ortstein* et est, si je ne me trompe, le seul auteur qui ait vu qu'il peut consister en deux couches différentes et qui attribue une participation à la liqueur noire qui s'infiltre dans la formation de l'Ortstein rouge. Mais son opinion est que la couche sus-jacente de sable blanc provient d'une couverture de l'ancienne croûte de lande par le sable mouvant. Ce qui paraît déraisonnable dans le fait énoncé par lui « que l'Ortstein rouge manque là où il n'y a pas d'Ortstein noir, disparaît si l'on remarque qu'il dit expressivement « dans ces landes ». Cette observation peut très bien être aussi juste que le reste. Cependant, les communications de Selmer paraissent avoir été oubliées plus tard ou bien tout à fait laissées de côté par les chercheurs suivants.

---

1. Chr. Olufsen, *Œconomiske Annaler*. T. III, 1802, p. 123.

Le naturaliste distingué Bredsdorff paraît ne pas avoir fait une observation minutieuse des couches du sol des landes, mais il parle en plusieurs places[1] de la nature et de l'origine de la formation des landes. Il considère l'Ortstein comme un grès poreux, dans lequel l'hydrate d'oxyde de fer serait le ciment et il exprime sa manière de voir à ce sujet de la façon suivante[2] : « L'oxyde de fer hydraté, qui, combiné avec l'oxyde de manganèse et parfois peut-être avec le charbon, cimente le sable dans les contrées de landes et forme l'Ortstein, avait peut-être son origine dans les matières végétales, que le fer rend solubles dans l'eau, après quoi la dissolution est amenée dans le sable jusqu'à une certaine profondeur et là, le fer se précipite. Il semble vraisemblable que les plantes participent à la formation de ce produit, par cela même que ces couches reposent toujours parallèlement à la couverture de bruyères et n'existent pas où celle-ci manque.

L'interprétation donnée par C. Dalgas dans sa description du Amt Ripen dans l'année 1830[3] est plus connue que les aperçus du précédent auteur sur les landes. Il donne tout aussi peu que Bredsdorff une description particulière du sol de lande d'origine, mais il mentionne l'Ortstein et il se range, dans sa manière de voir, absolument à l'avis des auteurs précédents, au point de vue du caractère de l'Ortstein comme concrétion d'oxyde de fer et de son mode de formation. Ses communications sur l'Ortstein sont devenues des plus connues parce que, autant que je le sais, il a fait le premier la distinction entre l'*Ortstand*, l'*Ortstein* et l'*Eisenortstein*, qui, plus tard, a été généralement admise.

Un autre auteur distingué, G. Sarauw[4], décrit en même temps un terrain très intéressant tout à fait analogue au sol de lande dans la partie située tout à fait au Nord de l'Horns Harde, dans Seeland. La

---

1. *Begyndelsesgrunde af Geognosien*, Kbhn. 1827, p. 170-221. — *Geognostike og mineralogiske Iagttagelser paa en Reise i Nörre-Jylland i* 1823 (*Tidsskr. f. Naturvid.* T. III p. 225-258).

2. *Begg. af Geogn.*, p. 221.

3. *Bidrag til Kundskab om de danske Provindsers nuvärende Tilstand, foranstaltet ved Landhusholdningsselsk. V. Stk. Ribe Amt*, 1830.

4. *Loco citato*, VI, Stk. Fredriksborg Amt, 1831, p. 107-109.

terre qui s'y trouve, appelée *Hohlerde,* consiste en une masse tourbeuse épaisse tantôt de 2 à 3 pouces (0m,0261 à 0m,0784), tantôt de 10 à 12 pouces (0m,2615 à 0m,3138), qui renferme un épais tissu de racines de bruyères et recouvre, sur le pays plat, bas, consistant en fond de mer soulevé, une couche de sable épaisse de 3 à 5 pouces (0m,0784 à 0m,1307), qui à son tour est séparée du sable du sous-sol tantôt par une couche d'Ortstein tendre et seulement fortement coloré, tantôt par une couche d'Ortstein dur. Il semble que cette formation de lande se soit opérée avec de l'Humusortstein normal sur d'anciennes prairies salées, par suite de la croissance des bruyères. Le nom « *Hohlerde* » vient du son creux que cette terre rend quand on se promène dessus à pied, en voiture ou à cheval, particulièrement par un temps sec et chaud.

Après la publication par G. Forchhammer, en l'année 1835, de son travail intitulé : *Danmarks geognostiske Forhold, forsaavidt som de ere af hängige af Dannelser, der ere sluttede,* l'opinion de cet éminent chercheur sur la formation de l'Ortstein, semble avoir été chez nous prépondérante pendant une génération, et il est dans ce temps revenu souvent aussi bien sur sa description du sol de lande que sur l'explication qu'il a donnée de son mode de formation.

Forchhammer rectifie de suite dans son premier travail la faute commise par Bredsdorff et Dalgas dans l'indication des éléments de l'Ortstein, lorsqu'il dit : « Le ciment de l'Ortstein sableux (*Sandortstein*) n'est pas le fer, mais bien une matière organique tourbeuse. » Il commence donc par exprimer le même avis sur ce point que Selmer, sans d'ailleurs faire mention de cet auteur : plus tard, il semble pourtant s'être approché un peu plus de Bredsdorff, car, dans les publications parues en 1855 et 1862[1] il exprime que l'hydrate d'oxyde de fer est le ciment, en ajoutant, qu'il tient pour très

1. *De jydske Heder* (*Steenstrup, Dansk Maanedsskrift.* T. I 1885). — Barth, *om de Danske Heder og deres Dannelse* (*Nordisk Universitets-Tiddsk. Aarg.* III 1857); — *Bidrag til Skildringen af Danmarks geographiske Forhold i deres Afhängighed af Landets indre geognostiske Bygning,* Kbhn. 1858 (*Universitätsprogramm,* voyez p. 48). — *Den jydske Hedeslettes physiske og geognostiske Forhold* (*Tiddskr. f. Landökonomi* III R. T. IX 1861). — *Ahlformationen og Campinesandet* (*Overs o. kgl. d. Videnskabernes Selskabs Forh.* 1862.).

vraisemblable « qu'une certaine quantité d'oxyde de fer est nécessaire pour donner de la cohésion aux matières humiques[1] » et que « le *Sandortstein* n'est pas seulement différent du sable ferrugineux, sur lequel il repose, par ce fait qu'il contient communément une substance brune semblable à la tourbe, de l'acide humique entré en combinaison avec le fer, en formant une sorte de sel, l'humate d'oxyde de fer qui cimente les grains de sable et les petites pierres[2] ».

Forchhammer donne plus loin, dans toutes ses publications, une représentation exacte des différentes couches du sol de lande, mais, nulle part, il ne parle des deux parties de l'Ortstein (la noire et la rouge), que Selmer avait remarquées. Dans sa terminologie, il diffère sur un point, à notre avis d'une façon qui n'est pas particulièrement heureuse, de ses prédécesseurs, en désignant par *Maar* la partie du sol de lande sous-jacente de la croûte de lande, qui consiste, dans sa partie la plus essentielle, en un sable traversé par un tissu de matières humiques fortement mélangées avec des racines de bruyères[3], tandis qu'aussi bien Selmer et de même C. Dalgas et Bredsdorff désignent par *Maar* la croûte de lande même qui est enlevée par les habitants de la lande et utilisée comme combustible. Cela est arrivé aussi à l'auteur du présent écrit, E. Dalgas, qui dans son premier travail sur les landes s'accorde tout à fait sur plusieurs points avec Forchhammer et emploie aussi les dénominations adoptées par cet auteur, pour désigner les couches du sol de lande[4].

La couche humique déposée sous les grandes étendues de landes du Danemark, de l'Allemagne du Nord, de la Hollande et de la Belgique ou dans les étendues de sable de ces régions a été principalement l'objet des recherches de Forchhammer, entreprises à propos de sa théorie de la formation de l'Ortstein. En dehors de celle-ci,

1. Barth, *passim*, p. 81. Anm.

2. Johnstrup, *Almenfattelige Afhandlinger og Foredrag af J. G. Forchhammer*. Kbhn. 1869, p. 215.

3. Voyez, par exemple, la figure page 158 dans la publication intitulée : *Ahlformationen og Campinesandet*.

4. E. Dalgas, *En Oversigt over Hederne i Jylland*. Aarhus, 1866, p. 13

dans quelques écrits du même temps[1], d'autres formations d'Ortstein, pour lesquelles furent employées les désignations choisies par C. Dalgas, avec l'addition d'une définition claire et exacte, qui, comme je le suppose, provient de Forchhammer, bien que je n'aie vu pourtant à aucun endroit ce fait cité expressivement. Voici ce qu'on dit dans les écrits en question : « Dans le Jütland on désigne dans le langage courant « *Ahl* » (*Ortstein*) cette espèce de pierre brune, qui existe en couches homogènes avec une extension plus ou moins grande. Cependant on doit remarquer à ce sujet qu'il y a trois sortes d'Ortstein, dont les propriétés sont très différentes, à savoir : 1) *Eisenortstein* (*Rasenortstein*), fer limoneux, qui se trouve dans les marais et les prairies et qui renferme une si grande quantité de fer qu'on peut en extraire ce métal ; 2) l'Ortstein proprement dit (*eigentliche Ortstein*), qui, heureusement, ne s'étend jamais sur de grands espaces et qui consiste en sable et en pierres fines, liés ensemble par un ciment brun ferrugineux en une pierre très ferme, qui ne se décompose pas à l'air. Cette sorte d'Ortstein se trouve en général à l'état compact sous la croûte terrestre en couches d'une puissance de 6 à 12″ et est d'après cela extrêmement préjudiciable à toute végétation ; 3) *Sandortstein* ou *Ortsand* (Ortstein sableux) ou sable fin lié par un ciment tourbeux ou une couche meuble poreuse de grès, dont la totalité est en général mince, le plus souvent d'une puissance de 6 à 10″, qui se décompose à l'air et est dissous, quand on conduit de la marne sur les lignes sous lesquelles il se trouve ; souvent, il se laisse aussi bien percer par la bêche. Cette dernière espèce d'Ortstein existe dans la partie occidentale de la presqu'île, sur de très grands espaces. » Dans les écrits de Forchhammer, parus sous son nom propre, les deux premières espèces d'Ortstein n'ont pas été mentionnées et sa définition du Sandortstein (Ortstein sableux) diffère, ainsi qu'on l'a fait remarquer plus haut, de celles qu'on a citées ici, en ce qu'il désigne comme ciment dans tous ses premiers travaux le fer en combinaison avec les acides humiques.

---

1. Bergsöe, C. D. F. *Reventlow's Virksomhed*, etc. Kbhn. 1837. T. II p. 11, Anm. ; Bergsöe, *Den Danske Stats Statistik*, T. I, 1843, p. 131, Anm.

Forchhammer considérait, comme on sait, ces *Sandortstein*, qui forment le membre le plus essentiel de son « *Ortsteinformation* », comme une formation définitive : « Nulle part, nous ne trouvons un grès dont l'humate de fer est le ciment et recouvert de sable quartzeux blanc lavé, comme une formation qui se continue[1]. La couche d'Ortstein doit son origine de formation à une couverture d'eau, par laquelle une quantité de marais tourbeux formée auparavant a été détruite, la masse de tourbe enlevée par limonage (*ausgeschwemmte*) est entrée en combinaison avec le fer de la couche intermédiaire et a formé le ciment de l'*Ortstein*[2]. » Cependant, Forchhammer ne paraît pas être tout à fait aussi accessible à d'autres théories : « On pourrait mettre en doute », écrit-il[3], « que la couche d'*Ortstein* provient de cette couverture végétale, qui se trouve maintenant sur la lande et dont les restes organiques, dissous dans l'eau par le sable blanc qui ne peut pas les cimenter, sont entraînés à l'état de sable ferrugineux dans les profondeurs où ils sont retenus par des attractions chimiques. » Il a rejeté cependant à nouveau cette manière de voir, pour différentes raisons, notamment parce qu'il n'a pu s'expliquer si cette formation n'est pas due à une destruction des marais tourbeux, et dans ses travaux plus récents, il ne revient pas à nouveau, au moins à ma connaissance, sur cette vue, à son avis insoutenable. — Sur l'origine du caractère des couches de terre qui se trouvent sur l'Ortstein, Forchhammer s'exprime, autant que je le sais, seulement dans une publication allemande de l'année 1847, de la façon suivante : « On reconnaît distinctement que l'acide humique des landes, se renouvelant toujours annuellement pendant des milliers d'années, a dissous et entraîné au loin les traces de la partie fertilisante que le mouvement des vagues a laissées dans le sable[4]. »

C'est seulement à l'époque à laquelle les vues de Forchhammer sur les conditions géognostiques régnaient en maîtresses qu'apparut

1. *Ahlformationen og Campinesandet, passim*, p. 159.
2. Barth, *passim*, p. 81.
3. *Steenstrup's Maanedsskr.* (voyez Johnstrup, *Almenfattelige Afh.*, p. 216).
4. *Festgabe für die Mitglieder der XI. Versammlung deutscher Land- und Forstwirthe*. Altona, 1847, p. 340.

le Norvégien Barth, dont l'opinion sur le sol des landes danoises était différente. Dans sa grande publication (*Nordische Universitätzeitschrift*[1]), il rechercha, en l'année 1855, les opinions des forestiers et géologues de l'Allemagne du Nord sur la formation de landes dans les conditions jütlandaises. Il fit ressortir le caractère humique du ciment dans l'Ortstein, en opposition avec les idées de la plupart des Allemands, maintint que la couche de sable plombifère était due à une transformation en sable d'une ancienne couche d'humus, qui, enfin, dans le cours des temps, avait été changée en Ortstein, et soutint l'opinion que la formation de lande est une conséquence d'une dévastation sans retour de la forêt.

Après la mort de Forchhammer, la théorie de cet auteur sur la formation de l'Ortstein paraît n'avoir plus trouvé aucun écho. F. Johnstrup, déjà dans son mémoire sur Forchhammer[2], renonce expressivement à cette théorie, et ne revient pas, à nouveau, là où l'occasion s'en présentait, sur cette formation qui, suivant l'idée de Forchhammer, était définitive[3]. Dans ses excellents *Billeder fra Heden* et à d'autres endroits[4], E. Dalgas, comme plus tard aussi Hoff[5] et Johnstrup, s'est rangé à la théorie rejetée par Forchhammer, que le Sandortstein est un produit de la végétation de bruyères et des restes de déchets de celle-ci ; ces auteurs ne livrent pourtant aucune contribution réellement neuve à l'éclaircissement du développement du sol de lande caractéristique et on utilisa toujours la division, établie à l'origine par C. Dalgas, de l'Ortstein en trois couches, en partie avec les définitions posées premièrement en 1837 dans *Reventlow's Levnet*, de Bergsöe.

Nous nous étions efforcé, dans ce qui précède, de rassembler, quand c'était possible, tout ce qui a paru dans notre littérature sur les rapports dont nous nous occupons, autant que cela porte l'em-

---

1. Tomes I et II.
2. *Forchhammer's Almenfattelige Afhandl.* p. 207. Anm.
3. Le 11. *danske Landmansforsamling*, p. 301 et suiv. ; le 13. *danske Landmansforsamling*, p. 155 et suiv. ; *Danmarks Statistik*, T. I, p. 80 et suiv.
4. *Oversigt over Hederne i Jylland*, Aarhus, 1866, p. 13 ; *Geografiske Billeder fra Heden*. Kbhn. 1867, p. 32-36 ; Möller-Holst, *Landbrugsordbog*, T. III p. 57.
5. *Landbrugsordbog*, T. I p. 50-51.

preinte d'une observation originale, en partie pour donner à la discussion toute l'étendue désirable et en partie parce que la représentation générale de ces conditions du sol fait souvent l'impression qu'il y manque une connaissance suffisante de ce qui a été fait antérieurement par les auteurs, qui se sont occupés de la question.

Relativement à la partie de la littérature parue à l'étranger, nous n'osons pas espérer donner un aperçu aussi complet. Il est, à franchement parler, vraisemblable que çà et là de bonnes observations[1] ou des opinions justes sont livrées à la publicité dans des écrits locaux peu connus, qu'il était impossible de se procurer, et nous avons dû nous tenir principalement à ce qu'on trouve dans les traités accessibles ou dans de plus grands ouvrages d'usage général.

Dans la littérature allemande[2], c'est dans les travaux bien connus de Senft qu'on trouve les sources les plus précieuses pour la connaissance des formations dont on a parlé ici. Suivant cet auteur, l'hydrate d'oxyde de fer est le ciment principal dans toutes les formations d'Ortstein et celles-ci doivent être, à cause de cela, comptées toutes parmi les limonites; il a omis d'après cela le caractère le plus essentiel de l'*Humusortstein*. Les formes d'Ortstein qui nous intéressent le plus ici, notre *Humusortstein*, le *Sandortstein* de C. Dalgas et de Forchhammer, l'Ortstein de Senft ou Ortsand, avec les couches de sable plombifère qui leur appartiennent, ont été décrites correctement dans leurs points essentiels, et il pense que le fer qui, d'après lui, devait cimenter le sable de l'Ortstein provient de la couche sus-jacente, de laquelle il a été enlevé par lavage

1. Voyez, par exemple, la mention que fait Barth des observations de v. Honstedt (*Nord. Univ. Tidsskr.* T. II p. 6.)

2. Je n'ai pu trouver, dans la littérature française et belge, aucune contribution à l'éclaircissement des phénomènes dont on parle ici qui eût les qualités requises pour être rapprochées des théories sur l'Ortstein de landes communiquées dans les autres travaux cités ici. Les plus anciens auteurs belges dont parle Forchhammer, comme Dumont et Dewael, paraissent être ceux qui s'accordent le mieux avec lui dans leur conception de l'Ortstein.

3. *Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildungen* (*Formations d'humus, de marais, de tourbe et de limonite*), Leipzig, 1862; *Steinschutt und Erdboden* (*Gravier et sol*), Berlin, 1867.

comme carbonate et tannate d'oxydule de fer[1], qui se transforme de nouveau dans les couches plus profondes en oxyde de fer.

Nous trouvons une conception plus nette du caractère essentiel de l'*Humusortstein* chez Burckhardt[2] et J. Wessely[3], qui définissent les couches cohérentes d'Ortstein d'une façon analogue à Forchhammer, c'est-à-dire comme étant une forme d'Ortstein dans laquelle la matière humique avec 1-2 pour cent de fer est le ciment. Ils considèrent tous deux cette formation d'Ortstein comme une formation du temps présent et déclarent qu'on ne sait, en général, rien de plus là-dessus. Les observations citées par ces auteurs témoignent d'ailleurs d'une connaissance assez restreinte de l'apparition des couches en question; ainsi, Wessely pense que l'Ortstein est produit « fréquemment ou plutôt en général » par une transformation en sable d'une ancienne croûte de lande. Schütze[4] confirmait par ses analyses la justesse de la conception des deux auteurs qu'on vient de nommer au point de vue des éléments cimentants de l'Ortstein.

Emeis a entrepris une étude beaucoup plus vaste de la formation de lande que celle faite par les autres auteurs allemands, et a, dans ses différentes communications[5], publié une série de très jolies observations sur le sol des landes et les phénomènes qui s'y rattachent. Il fait ressortir que le ciment de l'Ortstein peut être tout aussi bien l'oxyde de fer que les matières humiques; que les acides humiques qui se trouvent dans ces couches proviennent de la couche de tourbe

---

1. *Humus-, Marsch-*, etc., p. 189-195. Les conditions de gisement que Senft cite pour ses formations de limonite se rapportent évidemment à du fer limoneux et pas à notre *Humusortstein*, quoiqu'il soit difficile de distinguer duquel des deux il parle. Cela est admis par Girard et quelques autres auteurs qui ne sont pas cités dans cet aperçu de la littérature.

2. Burckhardt, *Säen und Pflanzen* (*Semailles et plantes*). Hannover, 1870, p. 296.

3. J. Wessely, *Der Flugsand und seine Kultur* (*le sable mouvant et sa culture*). Wien 1873, p. 87-92.

4. Schütze, *Die Zusammensetzung des Ortsteins* (*la Composition de l'Ortstein. Danckelmann's Zeitschr. f. Forst- u. Jagdw.* T. VI, 1874, p. 190).

5. *Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen* (*Recherches et observations forestières*), Berlin, 1875; *Vereinsbl. d. Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holst.*, 1876-1883, surtout 1878, n° 8, 1883, n° 2; *Beilage z. Vereinsbl. d. Haide-K.-V.*, etc., avril 1881; *Allg. Forst- und Jagdz.*, 1878, 1879, 1880, 1883.

à la superficie de la terre, sur laquelle a lieu principalement, pour des causes climatériques, une sorte de transformation en marais et que les acides humiques peuvent être conduits par l'eau de pluie à travers le sable plombifère, en vertu de la teneur restreinte de ce dernier en éléments basiques. Il voit dans la formation d'Ortstein un phénomène de concrétion et il ne distingue pas clairement entre les formes très différentes, comptées comme *Ortstein*. Il attribue la formation du sable plombifère à une silicification ou à une nouvelle formation de quartz s'accomplissant en partie dans la couche d'humus, en partie sous l'influence de la vie végétale : il comprend par là aussi bien une formation de poudre siliceuse fine que de plus grands cristaux de quartz et de grains de quartz analogues à la chalcédoine ; pendant que ces masses de quartz sont déposées immédiatement sous la couverture végétale, les couches de sable plombifère se forment régulièrement. Les observations d'Emeis sont, comme je l'ai dit dans mon premier travail, aussi intéressantes par ce fait que peut-être [1] il est le premier qui ait montré que du sable plombifère et de l'Ortstein n'existent pas seulement sous une végétation de bruyères, mais aussi dans les forêts de hêtres.

Sans avoir connaissance du travail d'Emeis, le forestier hanovrien Biedermann [2], s'appuyant essentiellement sur les analyses de Schütze, a donné une description des formations d'Ortstein de sa contrée. Il accentue fortement, en opposition avec Emeis, la différence entre le fer limoneux et l'Ortstein et admet la justesse de la composition de ces masses donnée par cet auteur, mais il a négligé le grès limoneux (*Limonitsandstein*) des landes, avec l'oxyde de fer comme ciment, qui justement donne lieu à une confusion. L'Ortstein existe, à son avis, seulement sur le sol sableux qui, pendant longtemps, avait été recouvert d'une végétation de bruyères ; il pense que

1. Voyez notamment la citation faite par Forchhammer des déclarations de Mühry (Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 83) ; il ne m'a pas été possible de me procurer le texte même du discours prononcé par Mühry à la réunion des agriculteurs et forestiers allemands, tenue en Hanovre en 1852.

2. Biedermann, *Ortstein und Rasenelsenstein* (*Ortstein et fer limoneux*) ; B. Danckelmann, *Zeitschr. f. Forst und Jagdwesen*. T. VIII, Berlin 1876 p. 80.

l'Ortstein manque aussitôt que le sol est limoneux. La couche d'Ortstein suit la conformation du terrain, se trouve aussi bien dans les montagnes que dans les vallées et doit provenir particulièrement d'un entraînement par limonage (*Hinabschlämmung*) de la poussière d'humus de la superficie. Quoique sa remarque à ce sujet ne soit pas tout à fait claire, il pense pourtant que « les matières humiques qui traversent la couche supérieure du sol ont entraîné avec elles un peu de fer de celui-ci vers l'Ortstein, qu'il contribue à cimenter ».

Je n'ai trouvé qu'un petit nombre d'indications dans la littérature sur les formations de sol dont on a parlé ici, relativement à leur existence sur d'autres emplacements que dans les landes, abstraction faite de l'observation souvent mentionnée d'Emeis de l'existence de ces couches dans les forêts de hêtres; je puis citer seulement la courte, mais intéressante communication de von Purkyné[1] sur l'existence de l'Ortstein dans les forêts de pins sylvestres de Bohême. Sous une couche de tourbe, consistant principalement en restes de déchets de forêts de pins sylvestres, il trouva une formation nettement définie de sable plombifère et d'Ortstein, et l'ancien peuplement de pins sylvestres montrait indubitablement que toute la couche s'était développée en moins de 100 ans. Il y a donc là une analogie complète avec l'observation mentionnée antérieurement, que j'avais faite dans les forêts de hêtres à certaines places dans le *Teglstruper Gehege,* et von Purkyné fournit ainsi une nouvelle forme de végétation à la série de celles pouvant produire la tourbe avec sable plombifère et Ortstein[2].

Il ressort de ce résumé de nos propres contributions et des plus importantes de la littérature étrangère à la connaissance du caractère de l'*Humusortstein* que tous les traits essentiels dans la culture du sol de landes ont déjà été plusieurs fois auparavant représentés avec exactitude. En outre, on accordera pourtant, sans doute, que cette

1. Sur une formation d'Ortstein produite récemment par une transformation en lande (*Verheidung*) [*Vereinsschrift des böhmischen Forstvereins*] citée d'après la *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schleswig-Holstein,* 1879, p. 202-215.

2. Comparez, page 252.

formation si simple en elle-même, qui joue un très grand rôle dans le Nord de l'Europe, n'a pas été examinée assez complètement pour que l'on puisse considérer comme incontestable ce qui, dans le cours des 80 dernières années, a été indiqué par une série d'auteurs comme Selmer, Forchhammer, Barth, Burckhardt, Berendt et Schütze, c'est-à-dire que le ciment de cette forme d'Ortstein consiste en matière humique et combinaisons humiques. Ces auteurs, ainsi que l'a fait par exemple Forchhammer, ont en même temps attribué au rôle de l'oxyde de fer dans l'Humusortstein une signification différente et incertaine, si bien que la façon de concevoir l'*Humusortstein* comme une pierre de sable ferrugineuse (*Limonitsandstein*) a pu toujours être émise à nouveau.

Au contraire, les conditions de gisement et l'existence de cette forme d'Ortstein n'ont sans doute pas été représentées clairement autrefois, ce qui, à nos yeux, est la cause la plus importante de ces explications contradictoires et peu satisfaisantes sur la façon dont cette couche a pris naissance. Le fait que cette couche peut se présenter avec ses différentes variétés dans presque tous les sols de formation alluviale et diluviale, sous des formes variant depuis le sable grossier à notre lehm sableux ordinaire, aussi bien que les sortes d'argiles plastiques, micacées, de la formation carbonifère ; qu'elle est liée dans son existence inséparablement à une forme d'humus déterminée, la tourbe formée sur le sec, si bien qu'elle manque là où se trouve une autre espèce d'humus (*Mull*, terreau), ou bien là où il n'existe aucune couverture d'humus sur le sol, et qu'enfin se trouve toujours entre la couche de tourbe et d'*Humusortstein* une couche de terre décolorée par le lavage, ne pouvant absorber aucun acide, toutes ces conditions ont échappé en partie à l'attention des observateurs : quelques auteurs cependant, comme Forchhammer et Emeis, semblent n'avoir pas été loin d'interpréter clairement la plupart de ces moments. Mais, d'un autre côté, on ne trouve dans la précédente littérature rien qui puisse faire mettre en doute la justesse de ces principes.

Formation du sol de landes. — De toutes les opinions différentes sur l'origine du sable plombifère, la théorie émise par Selmer, plus tard par Barth, en partie aussi par Wessely, d'après laquelle la couche

de sable blanc gris déposée sur l'*Humusortstein* devrait son origine à une couverture de l'ancien sol de lande par du sable mouvant, a été déjà l'objet d'une réfutation basée sur des raisons importantes de la part de Forchhammer [1]. A ce propos, il fait remarquer que le sable, quand il revient au repos, après que le vent l'a fait tourbillonner de tous côtés, ne se dépose jamais en couches homogènes, d'épaisseur égale comme dans le sable plombifère, et celui qui connaît les formations de sable mouvant le long des côtes et dans les sables appelés *Binnensanden* (*Indsande*), sable du continent intérieur, se ralliera à la réfutation de Forchhammer. Mais d'autres arguments d'égale importance viennent s'ajouter aux observations mentionnées plus haut, contre la propriété du sable plombifère comme sable mouvant. Nous avons vu que les dunes de sable déposées sur de vieilles landes n'ont pas la moindre ressemblance avec le sable plombifère, avant qu'il ne se forme de nouvel Ortstein sur une nouvelle couche de tourbe dans la couche amoncelée par le vent, et enfin l'apparition du sable plombifère dans des forêts sur les sols les plus différents, avec les différences locales les plus variées, démontrent également d'une façon suffisamment claire que l'opinion en question est insoutenable.

Contre la théorie de Forchhammer, que les couches de sable reposant sur l'Ortstein (désignées par lui sous le nom de *Stubensand*, sable de chambre) sont déposées dans les eaux tranquilles du continent ou les golfes de la mer [2] et qu'elles sont analogues aux dunes, on ne peut rien opposer d'essentiel aussi longtemps que l'on observe la formation achevée dans les plaines de landes parfaitement plates, qui produisent l'*Ortstein*. Seulement, les couches de sable plombifère, d'une homogénéité égale dans les pays de montagnes dentelées, laissent s'expliquer aussi peu de cette façon que le fait cité par plusieurs auteurs, que le sable plombifère recouvre parfois les *tumuli* du temps passé, ou notre démonstration de l'existence de plusieurs couches de sable plombifère et d'Ortstein dans les parties

1. Barth, *Om de danske Heder og deres Dannelse, passim*, p. 78.
2. Forchhammer, *Om Ahlformationen og Campinesandet passim*. p. 159. — Barth, *Om de danske Heder, passim*. p. 80.

de dunes, présentant certaines divergences. Il serait aussi difficile d'expliquer comment sur de pareilles places dans les landes, comme celles recouvertes par un bosquet, le sable plombifère aussi bien que l'Ortstein peut manquer, et l'accord entre le *Stubensand* de Forchhammer dans les landes et les couches de sable plombifère tout à fait analogue dans les forêts de hêtres, sur le lehm d'alluvion serait difficilement explicable. Les affirmations formelles de Forchhammer, qu'il n'existe jamais plus d'une couche d'Ortstein et que les parties exemptes de pierres sont des montagnes[1] recouvertes de broussailles de chênes, qui, à l'époque de la formation du dépôt de sable blanc, surgissaient au-dessus de la nappe d'eau, montrent suffisamment qu'il n'a eu aucune occasion de faire ses observations sur des emplacements de nature à justifier sa conception.

Enfin, en ce qui concerne la théorie de silicification d'Emeis, elle a trouvé parmi les géologues et les chimistes autant d'opposition énergique[2] que d'écho[3], ou tout au moins une approbation provisoire[4]. Particulièrement, des vues de Bischof sur la formation des couches de quartz ou plutôt de couches d'acide silicique insoluble sous la couverture végétale des prairies[5] ont contribué à appuyer la théorie émise par Emeis. De plus, il est à remarquer que Bischof, à mon avis, ne cite pas une seule observation de telles couches de silice, qui « dans 78,705 années » devaient atteindre une épaisseur de 1 pied ($0^m,3138$), mais seulement, quand il traite cette question, il fait une hypothèse audacieuse, qui ne peut servir de point de départ à de nouvelles hypothèses.

---

1. Voyez, par exemple, Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 82.

2. W. Daube, *Das naturgemässe Zurückweichen des Waldes in Schleswig-Holstein* (*la Rétrogradation naturelle de la forêt dans le Schleswig-Holstein*); Borggreve, *Forstliche Blätter*, 1881; *die naturwissenschaftlichen Hypothesen des Herrn Oberförsters Emeis* (*Les Hypothèses scientifiques du chef de cantonnement* [inspecteur des forêts] *Emeis*). [*Ibidem*, 1882].

3. *Breitenlohner im Centralblatt für das gesammte Forstw.* 1876. Aussi Jentzsch doit, dans les *Forstliche Blätter* pour 1882, que je n'ai pu me procurer, avoir soutenu la conception d'Emeis.

4. R. Weber, dans l'*Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 1877, p. 119.

5. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie* (*Traité de géologie chimique et physique*). T. II, 1885, p. 891 et 1323.

Contre la théorie de la silicification, on doit certainement maintenir fermement la valeur des résultats obtenus à l'aide du microscope, dans une étude comparative du sable plombifère et du sous-sol. Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer auparavant[1], le squelette de ces couches de terre montre, même dans ses plus fins éléments, comme, par exemple, par les petites feuillettes micacées presque microscopiques qui se trouvent à beaucoup de places dans le sable de lande[2], que les éléments du sable plombifère et du sous-sol sont les mêmes, et que parmi ceux-là seuls l'oxyde de fer et d'autres parties de la terre fine, pouvant être emportées au loin par l'eau, ont disparu. Aussi bien la grosseur que le caractère minéralogique du grain est tout à fait identique dans le sable plombifère et le sous-sol, ainsi que l'ont établi aussi des recherches d'autres auteurs[3]. Mais aussi le mode de formation du sable plombifère ne peut s'expliquer par la théorie d'Emeis, notamment l'aspect du profil de terre représenté (fig. 14, p. 234) avec un bosquet (*Krattbusch*) de chênes, tout aussi peu que sa formation qui s'est opérée peu à peu dans les forêts de hêtres, aussitôt que le terreau ou la croissance herbacée disparaissent ou deviennent considérablement limités. Ainsi justement les facteurs qui devaient accélérer surtout la formation de quartz ont perdu en importance. Nous n'avons donc à prendre en aucune façon parti dans la lutte violente qui s'est élevée sur la possibilité de la formation des grains de quartz, de la façon admise par Emeis en partie en accord avec Bischof, pour réfuter la conception de cet infatigable chercheur et de cet autre observateur rigoureux sur la nature du sable plombifère. La formation de quartz elle-même se trouve en dehors du domaine de notre recherche, et une observation plus attentive du grain de sable plombifère doit donner un éclaircissement suffisant sur ce fait, que le sable plombifère n'est pas un nouveau quartz (*Neuquartz*), ce qui d'ailleurs n'exclut pas que celui-ci peut contenir des formes différentes de si-

1. Comparez, 1re partie, p. 161.

2. Tuxen, *Nogle Analyser af jydsk Hedejord* (*Tiddskr. f. Skovbr.* T. I p. 267 et suiv.).

3. V. Purkyné (voyez *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holst.* 1879, n° 12, p. 203-204).

lice insoluble, qui se trouvaient auparavant en solution dans le sol et la végétation; mais le sable plombifère a vraisemblablement cette propriété commune avec le sol de terreau, au moins avec le sol de lande en forme de terreau, là où aucune couche de sable plombifère n'est visible, bien que le terreau sableux (*Sandmull*) se trouve dans les landes sous la même exposition à la même distance de l'eau profonde et d'autres conditions locales, comme la superficie recouverte de tourbe et qui produit le sable plombifère.

Le mélange caractéristique du sable plombifère avec les particules d'humus, qui peuvent se rassembler à des places plus humides dans le sable grossier en couches tourbeuses sur la partie supérieure du sol et qui doivent être considérées, d'après les observations communiquées plus haut, particulièrement comme la partie de la tourbe entraînée par limonage, aurait, d'après Daube, une tout autre origine[1]. Il compte, à vrai dire, la couche en question comme vieil alluvium (*Altalluvium*) des géologues allemands; dans la croûte terrestre consistant en cette formation, il doit exister un sable qui, dans les 4 à 6 décimètres supérieurs, est coloré par une quantité extraordinairement faible de poussière d'humus qui, d'après Berendt[2], ne provient pas de la végétation actuelle, mais formait un élément d'origine du sable d'alluvion, à l'époque où celui-ci s'est déposé. Seulement, comme les observations citées plus haut montrent la façon dont le terreau a servi de point de départ à la formation du sable plombifère avec son mélange humique et comme il peut à peine s'élever une objection contre la signification qu'a l'acte de limonage (*Schlämmungsakt*) pour le dépôt de la poussière d'humus dans le sable grossier, alors soit le parallèle établi par Daube, soit l'explication de Berendt, est inapplicable, autant il est solidement établi que des couches de sable blanc gris se trouvent avec la poussière d'humus en plusieurs places, où elles ne peuvent pas être analogues avec le vieil alluvium des Allemands.

Quoique Forchhammer considère le sable plombifère princi-

1. *Passim*, p. 18.

2. *Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte von Preussen* (*Éclaircissements à la carte géologique spéciale de la Prusse*). Gradabth, 44 N° 16, Berlin, 1878, p. 7 et à plusieurs places.

palement comme une couche déposée par l'eau et quoique Emeis appelle à l'aide sa théorie du nouveau quartz, pour expliquer la formation du sable plombifère, ces deux auteurs accentuent pourtant — Emeis d'ailleurs sous une forme un peu trop générale — la signification du lavage (*Auswaschung*) pour la caractérisation entière[1] du sable plombifère ; Daube[2] repousse cette conception, en démontrant l'influence suffisamment connue du pouvoir absorbant, et en opposition avec Emeis, remarque que si ses vues étaient justes, tout pays forestier aurait dû appartenir aux landes, parce que, toutes, elles sont exposées au même degré au lavage. Cette considération serait en partie juste, si, comme cela ressort des observations communiquées plus haut, la formation de tourbe n'avait pas pour action directe de faire perdre à la couche superficielle du sol en partie ou presque complètement son pouvoir absorbant, qui diminue dans le sol sableux maigre, avec l'enlèvement du fer par lavage.

Maintenant, en ce qui concerne les opinions émises sur le mode de formation de l'Ortstein, nous ne voulons pas nous arrêter plus longtemps à la théorie de Forchhammer, qui, plus tard, n'a sans doute pas été interprétée par un géognoste danois[3]. La conception de ce savant d'un grand mérite sur la formation d'Ortstein reposait sur un matériel de recherches trop restreint, et il ressort aussi bien des observations citées plus haut que des observations plus anciennes, que l'*Humusortstein* des landes (*Sandortstein* de Forchhammer) est

---

1. Forchhammer, *Festgabe f. d. Mittlg.* etc., p. 340 ; Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 79 ; Emeis, *Waldbauliche Forschungen* (*Recherches forestières*), p. 5 à 7, 47.

2. *Passim*, p. 2 à 5.

3. D'après l'opinion émise par Daube (*passim*, p. 18) « que la recherche géologique la plus récente a établi que l'Ortstein appartient à l'*Altalluvium* et est un compagnon caractéristique de cette formation », on devait croire que la conception de Forchhammer était encore partagée par les géologues, sur l'opinion desquels s'appuie Daube pour sa démonstration. Mais si l'on vérifie ses citations (von Berendt, *Die Umgegend von Berlin*, I, *der Nordwesten Berlins* (*Les Environs de Berlin*, I, *le Nord-Ouest de Berlin*), on reconnaîtra alors que ceci provient d'une mauvaise compréhension de l'expression *Haidesand*. Là où Berendt mentionne plus tard (par exemple page 46) la *Fuchserde* (terre de renard?) correspondant à notre *Humusortstein*, il ne formule aucune conclusion sur son origine, mais fait seulement quelques remarques sur son existence.

une formation du temps présent, qui se poursuit encore toujours : ce qui est une réfutation suffisante de ses vues. On doit seulement encore faire remarquer ici — ce qui n'est sans doute pas arrivé auparavant — que la découverte de charbon de bois dans l'Ortstein[1] faite par Forchhammer qui lui a servi principalement pour sa théorie sur les formations d'Ortstein, peut s'expliquer sans la moindre difficulté une fois que nous avons appris à connaître l'activité des vers de terre. On comprend cette découverte aussitôt qu'en se reportant aux anciennes communications de Wedgewood et de Darwin[2], on se rappelle que le charbon et les corps analogues qui ont reposé en haut du sol s'enfoncent peu à peu dans celui-ci et sont enterrés sous les excréments des vers de terre.

Avec les preuves formulées contre l'opinion que le sable plombifère serait du sable mouvant qui aurait recouvert d'ancienne tourbe de bruyère, ni Selmer, ni ceux qui partagent son avis n'ont donné aucune explication de l'Ortstein envisagé comme une ancienne couche d'humus qui se serait transformée sous une couche sus-jacente de sable. Si pourtant quelqu'un devait encore émettre un doute sur l'admissibilité de cette théorie, premièrement un examen de l'*Ortstein* rendrait une semblable hypothèse absolument condamnable, et deuxièmement, les profils représentés par les figures 6 et 7 du tableau III mettent en évidence son incorrection. C'est-à-dire que nous avons ici réellement une croûte de lande transformée en sable qui, ainsi que cela ressort évidemment des figures, est fondamentalement différente de l'*Humusortstein* normal des landes.

Toutes nos recherches confirment les idées de Johnstrup, E. Dalgas et Hoff sur la formation de l'Ortstein dans ses traits principaux. Aussi l'explication donnée par Senft du mode de formation de son *Ortstein* se concilie aussi très bien avec notre conception, bien qu'il attribue à l'oxyde de fer une autre importance pour la couche que celle admise ici. Les idées d'Emeis sur l'*Humusortstein* se rappro-

1. *Ahlformationen*, etc., *passim*, p. 158. Barth, *om de jydske Heder*, *passim*, p. 81.

2. Darwin, *On the formation of mould* (*Sur la formation du terreau*) [*Transact. of the geol. soc.* Vol. V 1837, p. 505].

chent encore plus des miennes[1]; pourtant cet auteur a cherché à réfuter en détail ma théorie : l'origine de la teneur du sable plombifère en poussière et en charbon d'humus doit être attribuée au limonage de la tourbe de landes, et de plus il doit aussi rejeter la conception exposée plus haut de la formation de la couche tourbeuse supérieure de l'Ortstein.

Emeis[2] ne veut pas approuver l'opinion émise par moi sur l'importance du mouvement de l'eau pour le gisement des particules d'humus. A la vérité, il ne fait valoir aucune raison sérieuse contre ma théorie, mais, en forte opposition avec moi[3], il affirme que les particules d'humus du sable plombifère proviennent en partie de restes de racines végétales mortes, en partie de concrétions d'humus qui devaient se former dans la couche supérieure du sol remplie d'eau chargée d'acide humique.

La première de ces sources du charbon d'humus du sable plombifère est sans doute justement admise, seulement elle va si naturellement de soi qu'il est à peine nécessaire d'en donner une démonstration. Elle n'est pourtant pas suffisante pour expliquer le phénomène, et à la vérité par la raison que déjà nous aurions trouvé à diverses places dans la couche de sable plombifère une différence aussi extraordinairement grande dans la quantité de particules d'humus, sans qu'il fût possible de découvrir une différence correspondante dans le développement des racines de la végétation de bruyères. Mais il n'est pas sans doute possible d'expliquer clairement l'existence de la seconde

---

1. Le *Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schlesw.-Holstein*, 1879, p. 145-146, montre pourtant que nous sommes en contradiction sur des points peu importants. Une discussion des exemples cités par Emeis ne peut avoir d'utilité, si l'objet de l'observation même n'est pas exposé.

2. Cette manière de voir n'est pas tout à fait isolée, car déjà Barth (*passim*, fasc. 3, p. 15) cite comme une explication possible, pas tout à fait rejetable, que la couche entière d'Ortstein puisse être produite par des particules d'humus *entraînées en bas* (*herabgespülten*) de la tourbe; mais il rejette à nouveau cette supposition comme invraisemblable, pourtant pas d'après une analyse des rapports de structure de la couche, — qui aurait montré dans tous les cas, que l'*Humusortstein* typique ne peut être formé de cette façon, — mais d'après d'autres raisons peu claires, empruntées aux rapports de gisements de celui-ci. Comme cela a été mentionné plus haut, l'importance du limonage n'est pas restée étrangère à Biedermann.

3. *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 142-144.

des sources des grands amoncellements d'humus dans la partie la plus inférieure du sable plombifère. Ces gisements homogènes d'une masse tourbeuse sur le sol de la partie supérieure du sous-sol avec des passages tout à fait successifs à un sable plombifère blanc de neige en dessus vers la superficie de la terre, où des grains de quartz blancs sont mélangés dans la masse d'humus noire, ont aussi peu que possible des points communs avec les formations de concrétion, et d'ailleurs, jamais, à ma connaissance, il n'a été trouvé nulle part une formation de substance tourbeuse pouvant trouver sa place dans la catégorie des concrétions. La justesse de mon interprétation, pour laquelle l'exposé des motifs (pages 279-282) peut être invoqué, n'a pas été déniée par Emeis ; il cite seulement deux observations qui ne sont pas propres à renverser une idée qui me semble être la plus naturelle et qui ressort immédiatement de ce qui est établi sur le développement de l'Ortstein noir ou de l'Ortstein de tourbe (*Torfortstein*) [Tableau III, fig. 2-4[1]].

Un coup d'œil rétrospectif sur les opinions les plus importantes touchant les procédés qui ont produit une différenciation caractéris-

1. *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 142-144. Il a d'abord trouvé en haut, gisant sur la couverture de bruyères, de vieux os traversés par un tissu de racines de bruyères dont le tissu cellulaire était rempli de concrétions d'humus noires (*schwartzen Humuskonkretionen*), qui ne pouvaient provenir d'un limonage (*Einschlämmung*) mécanique. Ce phénomène trouve son explication la plus naturelle dans ce fait que les os poreux ont pu aspirer de l'eau chargée d'humus, dont l'évaporation a produit le dépôt de la masse noire. La seconde observation, qui devait réfuter l'entraînement par limonage de la poussière d'humus à travers une couche de sable grossier, consiste dans la découverte faite par l'auteur d'épanchoirs (*Abläufe*) et de canaux s'enfonçant de la couche normale de sable plombifère jusque dans le sous-sol, qui étaient revêtus d'une paroi d'Ortstein. De telles formations, que j'ai aussi fréquemment observées, ne sont pas, à mon avis, produites originairement par le phénomène souvent mentionné par Senft et par d'autres, à savoir qu'il s'est formé autour des racines mortes et analogues une couche de sable plombifère entourée d'une croûte d'Ortstein ; la richesse en humus de cette couche peut enfin très bien être augmentée par l'absorption d'une plus grande quantité d'acides humiques de la couche supérieure du sous-sol. Mais il n'y a là aucune démonstration de l'inexactitude de mon hypothèse d'entraînement par limonage (*Hinabschwemmung*). Si l'argile peut être enlevée par limonage du sol de *lehm* avec une grande masse de terre, alors la poussière d'humus doit pouvoir être certainement envisagée comme étant produite par un mouvement d'eau dans le sable grossier des landes.

tique dans la croûte terrestre des sols de landes n'est pas d'après cela, à mon avis, propre à atténuer l'explication donnée dans le présent écrit de ce phénomène dont on a souvent parlé et qui se présente de façons si différentes. Ce qui s'est accompli dans la formation du sol de lande caractéristique est, à mon avis, le résultat des facteurs qui agissent dans chaque sorte de sol; ce sont là des circonstances simples et bien connues, qui, à cause de cela, ont été souvent mentionnées dans tout le siècle présent, mais auxquelles on n'a pas en général attaché leur entière importance: leur conception ne pouvait pas être claire, parce qu'on n'avait pas examiné le début des formations en question aux stades les plus faciles à comprendre et qu'on a négligé la signification de la faune terrestre pour l'état physique différent du sol.

Cause de la formation de lande. — On sait depuis longtemps déjà que les étendues de landes du Jütland et vraisemblablement aussi les pays limitrophes ne représentent pas partout l'état primitif du paysage, mais qu'elles sont le résultat d'un développement et que les contrées occupées aujourd'hui par les landes étaient autrefois recouvertes de forêts étendues. Mais les opinions émises sur les causes qui ont produit ce développement s'écartent beaucoup les unes des autres. Nous voulons dans notre orientation dans la littérature sur cette question, prendre comme point de départ les travaux des deux auteurs qui l'ont traitée dans les temps les plus récents; ce sont Emeis et Borggreve, qui représentent deux vues diamétralement opposées sous ce rapport, en ce sens qu'Emeis considère les landes presque exclusivement comme le résultat de facteurs naturels, tandis que Borggreve attribue à l'homme seul la faute des dévastations des forêts.

Emeis a le mérite d'avoir tout d'abord mis en relation causale la formation des landes aux frais de la forêt avec des transformations naturelles s'accomplissant lentement, où un grand développement d'acides humiques joue le rôle principal. Cette jolie et importante observation a été complètement confirmée par les recherches communiquées plus haut. Il se comporte au contraire autrement avec les théories par lesquelles il cherche à expliquer ce phénomène et avec les conclusions qu'il tire sur « l'arrangement (*Stellung*) des

essences et de la couverture du sol végétative dans le ménage (*Haushalte*) de la forêt » et « de la marche du boisement naturel » ; ces deux parties théoriques de son livre trouveront difficilement de l'écho. Les derniers groupes nommés de ses vastes déductions, qui sont en contradiction absolue avec une série d'observations connues, notamment pour les marais tourbeux, ne doivent pas être mentionnés ici, parce qu'ils se trouvent en dehors du plan de notre représentation, et c'est seulement le premier groupe, ses idées sur les causes de la formation des landes, qui feront l'objet d'une courte discussion.

Emeis a observé la formation de tourbe, il a reconnu son influence sur le sol et la végétation forestière et l'a interprétée justement dans beaucoup de points importants ; mais ses observations se bornent à cela, et il cherche alors à s'expliquer les causes du phénomène, au lieu de les explorer à fond par une recherche poursuivie. Il a été de cette façon conduit à la théorie suivante : la cause du développement des formations de tourbe gît dans un changement du climat ; celui-ci doit avoir été plus humide et plus rude, ce qui a provoqué la formation de marais qui, maintenant, de leur côté, contribuent à rendre le climat plus mauvais et à favoriser le développement de la tourbe de landes. Puis il dit : « Nous n'avons pas besoin de décrire comment maintenant par le développement des marais le terrain de dévastation climatérique s'est accru peu à peu et a repoussé de plus en plus la forêt limitrophe. » Abstraction faite complètement de l'explication de la formation de tourbe donnée dans le présent écrit, la théorie d'Emeis est réfutée par l'état des couches de tourbe même. Si de petites broussailles de chênes, hautes seulement de 2 pieds ($0^m,6277$) et larges de quelques pieds, se trouvent sur une surface de lande avec du sable plombifère bien développé, sous l'écran desquels ces formations manquent complètement ; si, de plus, dans les forêts d'État du Nord de Seeland, comme à l'intérieur du Gribsskov et du *Teglstruper Gehege,* immédiatement près de la côte raide de Œresund (le détroit de *Œre*), des couches puissantes de sable plombifère et d'Ortstein reposent sur les montagnes les plus hautes et les plus sèches, sous une couche de tourbe épaisse de 6 pouces ($0^m,1307$) ; si enfin, dans toute l'Allemagne et aussi bien sur les chaudes par-

ties calcaires de la *Rauhe Alp* et à beaucoup d'autres endroits, il se trouve des formations de tourbe analogues, il ressort de là que l'apparition de cette couche d'humus n'est pas du tout en relation avec les changements climatériques sur la Chersonèse cimbrique. Sur beaucoup d'emplacements, dans les landes et les forêts, les sols de tourbe et de terreau changent si subitement et sont mélangés les uns aux autres par places à un tel degré, qu'on doit renoncer à la pensée de chercher la cause dans des facteurs plus grands, s'étendant sur des parties entières du pays ou des contrées ; l'apparition de la formation de tourbe se présente, particulièrement dans une étude des formes de développement, comme un phénomène local, dans le sens le plus strict du mot.

La manière de voir de l'auteur le conduit à une autre affirmation tout à fait insoutenable à nos yeux, à savoir que ce sont les conditions climatériques et leur résultat, la formation de tourbe, qui sont les seuls facteurs qui aient produit les landes et que les hommes n'ont aucune part à leur développement. De nombreuses données historiques renferment pourtant assez de témoignages du puissant empiétement des hommes sur la végétation forestière d'autrefois dans les régions de landes, pour qu'on ne puisse pas leur refuser une signification. Nous voulons seulement rappeler ici le défrichement, les incendies des forêts, aussi bien que les déboisements imprévoyants. La présence de nombreux *tumuli* dans les régions de landes[1] est la preuve d'une habitation dans les premiers temps, et avec cela peut-être était liée, dans l'antiquité, une agriculture, mais en tout cas l'élevage du bétail ; des incendies de forêts dévastaient de telles étendues qu'on peut difficilement s'en faire une représentation ; enfin aussi un déboisement imprévoyant prêtait son assistance

1. Par les recherches sur les antiquités du Jütland, que la *Direktion for de nationale Mindesmärkers Bevaring* a fait entreprendre dans les derniers temps dans les contrées de landes de Jütland, on a obtenu des renseignements authentiques sur ce fait, que dans plusieurs landes (*Harden*), même dans la région de lande occidentale la plus déserte (inculte), comme, par exemple, dans la lande de Bölling, se trouvent environ 150 montagnes et cercles de pierre sur des milles carrés ; la plupart de ces monuments, qui presque tous datent de l'âge du bronze ou du fer, renferment plusieurs, quelques-uns même un grand nombre de tombeaux. (Communication du Dr S. Müller.)

à l'influence dévastatrice du vent d'Ouest, comme cela ressort de la figure 13, page 219. L'objection, que les hommes n'auraient pu utiliser tout le bois que leur aurait procuré une dévastation réelle des forêts est réfutée par la démonstration de l'existence d'une industrie de fer grandiose[1] dans le Jütland central au moyen âge ; cette industrie doit avoir eu une extension considérable, parce que les habitants payaient leurs contributions en fer et que ce métal était un article d'exportation pour le reste du pays.

Il me semble, d'après cela, qu'Emeis a fait beaucoup trop peu de cas de l'importance de l'accélération apportée par l'homme au développement des landes par la dévastation des forêts. Mais il me semble encore beaucoup plus déraisonnable de donner son assentiment à l'idée émise par Borggreve que seuls les hommes sont responsables de la formation de landes. La proposition étrange[2] : « chaque surface de lande est le résultat de la culture entreprise par l'homme, et si on la laissait en repos pendant quelques périodes décennales, elle serait à nouveau ce qu'elle était il y a des siècles et des milliers d'années, c'est-à-dire la forêt », témoigne, comme aussi les autres propositions de l'auteur, d'un défaut de connaissance de la lande. Des représentations générales, justes en elles-mêmes, sur l'effet de la lutte pour la vie que les différents groupes de végétation se livrent les uns aux autres, il tire la conclusion également juste en rapport avec les prémisses, que la forme de végétation, prédominante sur une place, est devenue seule maîtresse, à la suite d'une lutte dans laquelle d'autres organismes et des conditions extérieures étaient soit leurs alliés, soit leurs adversaires. Aussitôt que le groupement de la série des facteurs dont le résultat est la forme de végétation déterminée éprouve un changement, ou aussitôt qu'un des facteurs perd de son importance ou disparaît, alors le résultat de la lutte doit aussi être différent et la végétation autre. Cette considération est aussi juste qu'ancienne. Relativement à la végétation forestière, cela ressort de l'excellent traité de G. Heyer : « *Das Ver-*

---

1. C. Nyrop, *Dansk Jern* (*Historisk Tiddskr.* R. IV. T. VI 1877-1882, p. 125-162).
2. B. Borggreve, *Haide und Wald* (*Lande et Forêt*). Berlin, 1879, p. 43.

halten der Waldbaüme gegen Licht und Schatten » (La façon dont se comportent les essences forestières vis-à-vis de la lumière et de l'ombre) ; dans notre littérature, des recherches de Vaupell[1] et de l'auteur lui-même[2] ; depuis l'apparition du célèbre travail de Darwin sur l'importance de la lutte pour la vie (*struggle for life*), cette considération est sans aucun doute universellement reconnue et a été confirmée tout aussi bien par des recherches spéciales que par des exposés plus généraux d'auteurs tels que Nägeli, Hooker et d'autres. Mais, ce qui me semble aussi incorrect que neuf, c'est la façon dont Borggreve fait application de la loi en question, pour montrer ce qui ressort des déductions faites sur des domaines, où la méthode d'induction pourrait être employée. De la théorie générale sur l'importance de la lutte pour la vie, Borggreve déduit ce que doit être cette condition sur les landes, au lieu de prendre comme point de départ une expérience pour en tirer ensuite la loi par induction. C'est-à-dire que l'observation aurait montré que sa loi est juste partout où nous avons seulement affaire avec une végétation de bruyère et où le sol a du reste conservé son caractère originaire de terreau, qui le rend habitable à d'autres formes de végétation. L'observation montre — il existe sur ce point beaucoup d'exemples[3] — que des surfaces portant une végétation de bruyères abandonnées à elles-mêmes se convertissent à nouveau en forêts. Mais, dans les landes typiques, s'ajoute encore un moment, que Borggreve a négligé, parce qu'il n'existait pas dans ses prémisses. Sous la domination de la végétation de bruyères, le sol est, à vrai dire, transformé de telle façon, que la lande ne peut pas d'elle-même, au moins sur de grandes étendues, se convertir à nouveau en forêt, parce que le sol n'est plus susceptible de porter d'autres formes de végétation

1. Chr. Vaupell, *Bögens Indvandring i de danske Skove,* Kbhn. 1857. *De danske Skove,* Kbhn. 1863.

2. *Om Ädelgranens Forekomst i nogle franske Skove* (*Tidsskr. f. pop. Fremst. af Naturv.* R. IV. T. III p. 51).

3. Pour donner un exemple dans notre propre pays, nous voulons citer Bornholms « *Hölyng* », où la végétation arbustive émigre le long des bords des forêts (lisières) dans les landes portant une végétation de bruyères, mais qui ne sont pas revêtues de tourbe et ne renferment pas d'Ortstein. On pourrait citer des exemples semblables à l'étranger, particulièrement dans les contrées montagneuses.

que la bruyère jusqu'à ce que son caractère soit devenu autre, sous l'action de l'homme. Quand on a une connaissance fondamentale de l'histoire de la culture des landes, il me semble impossible qu'on puisse en tirer une autre conclusion que la suivante : il y a de grandes surfaces qui ne peuvent d'elles-mêmes se convertir à nouveau en forêt et nos recherches nous conduisent à expliquer que la cause en est dans les changements produits avec le concours de la végétation dominante même dans le sol.

Il semble donc qu'une étude fondée sur l'observation de la nature des landes montre assurément que l'intervention des hommes, conjointement avec les facteurs météoriques, est de la plus haute importance pour la production des états qui favorisent l'immigration de la bruyère dans les forêts originaires des régions de landes ; de plus, que la lutte entre les espèces végétales sur de tels emplacements a accéléré à un haut degré l'extension et la domination exclusive de la végétation des landes, ainsi que le pense Borggreve ; mais, en même temps, — ce qui ressort particulièrement des observations communiquées plus haut, — qu'il s'est accompli sous l'influence de la vie organique d'aussi importantes transformations dans la superficie du sol des landes et que c'est justement cette transformation géognostique de l'emplacement, à laquelle Emeis attribue à bon droit une grande importance, qui donne son caractère à la lande typique. A cause de cela, la formation de lande n'a pas d'analogie avec la dévastation de la forêt et la domination de la bruyère sur le terrain, mais se trouve, dans ces conditions, en rapport avec la formation de tourbe de lande. Enfin, on doit admettre avec la plus haute vraisemblance que le commencement de la formation de lande, même dans les parties montagneuses, notamment dans le Jütland oriental, date d'une époque très lointaine, et c'est à peine s'il peut s'élever quelques objections contre l'opinion souvent exprimée par Forchhammer[1], qu'une partie des landes, surtout dans les plaines, au moins sur de plus grandes étendues, n'avait jamais été recouverte de forêts, mais que la végétation qui a suivi la période glaciale s'est continuée immédiatement dans la végétation des landes

---

1 Voir, par exemple, Barth, *Om de danske Heder, passim*, p. 82.

sur le sol sableux le plus maigre du Jütland oriental, quoique je désire n'exprimer sur ce point aucune opinion personnelle, attendu qu'un matériel suffisant manque pour un éclaircissement positif[1].

Importance des vers de terre pour la formation de l'humus.

Lors de l'apparition de la première partie de ce travail « sur les formes de l'humus dans les forêts de hêtres sur sable et argile » en l'année 1878, on n'avait accordé jusqu'alors que très peu d'attention à la signification qu'a la vie organique pour la formation de l'humus. La direction tracée par les recherches de Liebig, dans l'étude du sol portant la végétation, avait dirigé l'attention si exclusivement vers les processus physiques et chimiques s'accomplissant dans le sol, que l'on peut dire qu'on a généralement négligé l'importance qu'a la vie animale pour la formation de la couche superficielle du sol naturel non travaillé ; car il n'existe, à ma connaissance, aucun traité d'un usage général, dans lequel on ait attaché de l'importance à cette circonstance. A la vérité, Darwin publiait déjà en l'année 1837[2] ses propres observations et les belles observations

1. Alors que ce qui précède était rédigé depuis longtemps et que le présent écrit était déjà presque entièrement imprimé, je reçus une publication du lieutenant-colonel E. Dalgas, intéressante au plus haut point, sur les forêts du temps passé et de l'avenir dans les régions de landes du Jütland (*Hedeselskabets Tidsskrift* 1884 n° 1), dans laquelle il exprime son opinion à ce sujet en disant que les landes consistaient entièrement en forêts et que leur formation est due exclusivement à la dévastation des forêts par les hommes. Quoique Dalgas, dans son vaste exposé, cherche à démontrer l'extension extraordinairement grande des forêts sur la péninsule jütlandaise, je ne trouve pourtant aucune raison pour changer quelque chose à ce qui précède, après avoir pris connaissance des nouveaux faits cités par lui.

Quand ce connaisseur expérimenté de la lande fait ressortir (*Hedeselsk. Tiddskr.* 1883, p. 219) qu'on ne peut rendre le sol responsable de la faute de formation de lande qu'autant qu'à cause de sa stérilité il n'était pas en état de fournir à la forêt une force suffisante pour résister aux entreprises des hommes, je dois maintenir ici, qu'en négligeant les changements qui s'accomplissent dans le sol, le moment le plus essentiel de la formation de lande a échappé à son attention. Une dévastation de forêt imprévoyante peut seulement transformer le pays forestier en une steppe, la formation de tourbe doit intervenir pour faire de la steppe une lande typique.

2. *Transactions of the Geological Society*. Vol. V, 1840, p. 505.

de son beau-père, d'après lesquelles des fragments de *lehm* brûlé et d'escarbilles, qui étaient disséminés sur un champ, disparaissaient peu à peu à quelques pouces au-dessous de la superficie, comme s'ils avaient été couverts par des excréments de vers de terre, et Hensen, ainsi que quelques autres[1], avaient fait d'intéressantes communications sur le mode d'existence du grand ver de terre et particulièrement sur la circonstance qu'il pouvait approfondir le fond pour les plantes en croissance sur un sol travaillé ; mais, le premier, von Post a appelé l'attention sur ce fait que les couches d'humus, pour ainsi dire partout où elles existent, sont d'origine koprogène. Cet observateur qui a traité avec une si grande clarté la question des différents dépôts provenant dans les eaux douces de la vie organique, a été pourtant moins heureux dans son exposé des formes d'humus sur le sec et l'importance des vers de terre lui avait tout à fait échappé. En l'année 1878, il n'existait donc, en dehors des communications de Hofmeister, Hensen et de quelques autres auteurs sur la signification des vers de terre, pour l'aération, l'approfondissement du sol, à vrai dire seulement une observation de Darwin, datant de 40 ans, sur le rapport qui peut exister à certaines places entre les vers de terre et la couche de terreau du sol ; mais ses cinq observations, y compris celles de son beau-père, étaient trop isolées ; elles furent en premier lieu traitées de curiosité historique, on n'y attachait pas une plus grande signification et, dans la science générale des sols, elles n'étaient pas admises dans la dernière période. L'auteur du présent écrit pouvait bien, par conséquent, penser à entreprendre son travail, sur une base certaine dans un domaine presque inconnu et devait d'après cela établir ses opinions et faire ses observations avec une prudence et une retenue qui lui ont plus tard été à charge.

Dans les cinq dernières années, la connaissance de cette question a pourtant été grandement augmentée par les excellentes recherches de Darwin[2] ; celles-ci ont donné naissance à de nombreux commen-

---

1. Comparez p. 145.

2. C. Darwin. *The formation of vegetable mould* (*la formation du terreau végétal*). London 1881.

taires et Hensen[1] y a ajouté quelques jolies observations, si bien que les vues émises par l'auteur en l'année 1878, sur l'importance des vers de terre pour la formation de l'humus, sont élevées maintenant, malgré son nom peu connu, surtout grâce à la puissante autorité de Darwin, à la hauteur d'une théorie généralement reconnue et combattue dans ses traits principaux par un petit nombre seulement[2].

Dans la partie des recherches de Darwin qui a le plus de rapport avec notre sujet principal, il faut d'abord citer ses vastes études sur le mode d'existence des vers de terre, qui ont éclairé d'une façon intéressante et pleine d'importance l'influence de ces animaux sur la croûte terrestre. « Leur œuvre principale », dit-il, « consiste à séparer les particules du sol plus fines des particules plus grossières, à mélanger le tout avec des éléments végétaux et à saturer cette masse avec des excrétions provenant de leur canal digestif[3]. » Les vers sont omnivores ainsi que je l'ai déjà publié dans la première partie; Darwin a vu qu'ils ont consommé non seulement la feuille tombée et d'autres substances d'origine végétale, mais aussi de la viande crue, de la graisse, des vers morts[4], etc.; il pense aussi qu'ils détruisent la terre pour en tirer leur nourriture[5]. Malgré la série d'observations et d'arguments sur laquelle Darwin base cette dernière opinion, je dois pourtant partager les doutes émis à ce sujet par Claparède[6] et Hensen[7]; bien que ce point soit bien loin d'être suffisamment éclairci, l'hypothèse la plus vraisemblable me paraît

---

1. V. Hensen, *Ueber die Fruchtbarkeit des Erdbodens in ihrer Abhängigkeit von den Leistungen des in der Erdrinde lebender Würmer* (*Sur la fertilité du sol dans sa dépendance des travaux des vers vivant dans la couche superficielle de la terre*). [H. Thiel, *Landw. Jahrb.* Berlin 1882 p. 661.]

2. Voyez pourtant Emeis dans le *Vereinsblatt*, etc., 1879, p. 141, et Borggreve dans son commentaire de la traduction faite par Metzger de : *Nogle Träk af Skovens Naturhistorie*, commentaire que je connais seulement par une citation de Hensen, *passim*, p. 696. Aucun de ces auteurs ne cite un argument contre mon explication.

3. *The formation* etc. p. 174.

4. *Passim*, p. 109.

5. *Passim*, p. 100-109.

6. Claparède, *Recherches histologiques sur le ver de terre* (*Histologische Untersuchungen über den Regenwurm*), p. 607 (*Zeitsch. f. wiss. Zool.* T. XIX, 1869).

7. *Ueber die Fruchtbarkeit, u. s. w.* (*Sur la fertilité, etc., passim*, p. 685).

être que le principal aliment des vers de terre consiste en restes végétaux et animaux, morts, surtout à moitié décomposés. Mais ceux-ci peuvent exister aussi dans la terre elle-même et une comparaison entre un sol portant une végétation qui est habité par les vers de terre et un pareil sol dans lequel ne se trouve aucun ver de terre, fait ressortir quelle différence extraordinairement grande s'accuse dans la teneur des deux en racines végétales mortes, qui, aux places où il n'y a pas de vers de terre, forment souvent un feutre véritable dans la croûte terrestre. Je tiens comme au plus haut point vraisemblable que, quand des vers de terre dévorent de la terre pour en tirer leur nourriture, le procédé consiste en ce qu'ils consomment la masse entière des déchets organiques, des parties souterraines de la végétation. Une connaissance plus exacte des matières humiques proprement dites du sol et des combinaisons dans lesquelles on les trouve rend moins vraisemblable, que des animaux d'une organisation aussi supérieure que les vers de terre, devaient être indiqués comme tirant leur nourriture de ces matières.

Au contraire, il ne peut exister aucun doute sur le fait que le ver de terre, en partie pour se procurer sa nourriture, en partie pour se tracer un chemin dans la terre et construire les galeries dans lesquelles il s'arrête, engloutit tant de terre que, ainsi que le pense Darwin, la masse entière du terreau qui se trouve sur un champ, a passé, dans le cours de peu d'années, à travers le canal digestif du ver de terre [1]. Il appuie cette manière de voir sur une grande quantité d'observations, de calculs et de pesées d'excréments de vers de terre, etc. [2], ce qui l'a amené à conclure que ces excréments sont apportés sur la superficie en une telle quantité que, au cours de dix ans, ils peuvent recouvrir le sol d'une couche de terreau d'environ 2 pouces ($0^m,0523$) d'épaisseur.

J'ai déjà fait ressortir que cette activité peut rendre la couche du sol dans laquelle vivent les vers de terre meuble et poreuse ; de plus, il en résultera la formation du mélange intime de matières humiques et d'éléments minéraux, que nous avons appelé terreau

1. *Passim*, p. 243 et à d'autres endroits.
2. *Passim*, chap. III.

(*Mull*) et enfin, là où les grands vers de terre creusent, il s'accomplira un approfondissement très important du terrain, d'où il résulte que la teneur de celui-ci en principes nutritifs sera augmentée, pendant que se formeront des canaux qui conduisent l'air et l'eau dans le sous-sol, si bien qu'aussi celui-ci, — ce qui ressort clairement notamment des observations de Hensen, — peut être rendu accessible aux racines des plantes.

Sur ce domaine, la dernière œuvre de Darwin apporte à vrai dire seulement, par la grande série d'observations précieuses, une nouvelle confirmation de lois déjà connues ; mais en étendant ses recherches sur l'influence des sucs digestifs du ver de terre exercée sur la nature chimique du sol, il en tire un nouveau moment d'une haute signification pour la manière d'interpréter l'activité de cet animal. Sans apporter directement une nouvelle contribution à l'anatomie et à la physiologie des vers de terre, il montre principalement, par l'application des recherches faites par d'autres sur ce sujet, qu'il éclaire par ses propres observations biologiques, que les sucs digestifs de ces animaux contribuent à un haut degré à neutraliser les acides formés par la fermentation et la putréfaction des matières végétales notamment les acides humiques.

Aux longs tubes digestifs des lumbricines, se trouve un groupe connu depuis longtemps de trois paires de glandes qui, d'après les recherches de Claparède[1], séparent la chaux, à la vérité en petites agglomérations ou cristaux, qui sont mélangés avec les végétaux décomposés et passent avec ceux-ci en même temps à travers l'intestin, en partie à l'état d'un lait de chaux, qui est mélangé avec la nourriture. Quoique Perrier[2] ait quelque peu pensé à indiquer le contenu de cette glande comme chaux, Darwin[3] se range pourtant tout à fait à l'avis de Claparède, qui aussi, d'après tout ce qui précède, mérite qu'on y ajoute foi ; il accorde à cette matière une très grande importance pour l'influence des vers de terre sur la formation du terreau et il ajoute que, d'après la richesse du sol en

1. *Passim*, p. 602-608.

2. Perrier, *Études sur l'organisation des Lumbricines terrestres*, p. 422 (*Archives de zool. expér.* T. III, 1874).

3. Darwin, *The formation* etc. p. 43-54.

chaux, il n'existe aucune différence essentielle dans le contenu des glandes.

Mais, en dehors de cette séparation du corps basique des glandes de chaux, des sucs à réaction alcaline sont apportés à l'aliment par tout le canal digestif. Déjà, le suc que le ver déverse sur les feuilles et analogues qu'il entraîne avec lui dans sa galerie, avant qu'il les détruise, — la digestion commençant pour ainsi dire en dehors du corps de l'animal — est alcalin [1]; mais on doit de plus admettre que le suc digestif des vers de terre, dont l'effet est analogue à celui du suc gastrique chez les animaux supérieurs, est alcalin comme celui-ci, parce que Darwin croit oser conclure que, de même que chez ces organismes où l'activité de digestion n'a pas exercé sa force, sous l'influence du suc gastrique, s'il n'existe pas d'alcali, ainsi les sécrétions des glandes calcaires doivent intervenir chez les vers de terre, pour que les parties du canal digestif qui se trouvent derrière ces organes puissent préparer la nourriture. Enfin, en partie les recherches de Darwin, en partie les analogies tirées par lui sur des animaux plus élevés, phytophages, rendent au plus haut point vraisemblable que l'état de fermentation dans lequel tombent les aliments végétaux après leur destruction, a beaucoup de points communs avec l'humification et que par cela il se produit dans chaque cas un excès, qui est neutralisé, soit en partie, soit complètement par un supplément de bases, fourni par le canal digestif.

Ce moment important pour la façon d'interpréter la signification des vers de terre pour la formation du terreau, que tout d'abord Darwin a suffisamment fait ressortir, a jeté une lumière de la plus grande importance sur la quantité différente trouvée par moi d'acides dans les dépôts humiques formés avec ou sans le concours des vers de terre ; mais, en tous cas, il donne la même explication pour l'un

---

1. Darwin s'appuie ici sur des recherches de Fredericq, qui permettent de conclure que le suc digestif des lumbricines est proche parent de la sécrétion du pancréas des vertébrés (*Archives de zoologie expérimentale*. T. VII, 1878, p. 394), ce qui, à franchement parler, n'est pas tout à fait confirmé par les études de Kruckenberg (*Vergleichend-physiologische Studien*. Heidelberg, Reihe I, p. 60, *Études physiologiques comparatives*, série I, p. 60), qui laissent moins de doute sur ce fait qu'un supplément d'alcali est nécessaire à la digestion des vers.

des facteurs qui font que du terreau proprement dit ne renferme en général pas d'acide humique libre, comme les couches tourbeuses qui n'ont pas traversé le canal intestinal des animaux, notamment des vers de terre. D'après cela, l'œuvre de Darwin prête un appui basé sur une série très considérable d'observations et de recherches à la justification de l'idée formulée par nous, dans la première partie de ces études, que toute la signification pour la formation du terreau doit être attribuée aux vers de terre, alors que pas une de ses observations ne parle contre.

Mais, sur d'autres points encore, de nouvelles observations de Darwin offrent un appui à notre recherche ; nous voulons faire ressortir aussi deux observations qui sont d'une importance plus grande pour le sujet traité par nous. Il dit[1] : « Lorsqu'on mettait des vers dans plusieurs vases à fleurs remplis avec du sable fin ferrugineux, on avait la démonstration que l'oxyde de fer qui recouvrait les grains de sable était dissout » (en traversant le canal intestinal des vers de terre), et plus loin[2] :... « Nous devons d'après cela tirer la conclusion que l'acide qui se trouve dans le canal intestinal des vers » (dans la masse contenue dans ce canal) se forme pendant le phénomène de la digestion et, vraisemblablement, c'est bien le même que celui qui existe dans l'humus ordinaire. Il est cependant bien connu que le dernier a le pouvoir de réduire l'oxyde de fer ou de le dissoudre, ainsi qu'on peut le voir là où la tourbe repose sur du sable rouge ou bien là où une racine pourrie monte à travers un pareil sable.

J'ai placé quelques vers dans un pot, rempli avec un sable consistant en petits grains de quartz très fins, rougeâtres, enveloppés d'oxyde de fer, et les galeries que les vers avaient creusées dans ce sable, étaient à la façon ordinaire remplies de leurs excréments, qui consistaient en sable mélangé avec des sécrétions de l'intestin et le résidu de la feuille digérée ; ce sable avait tout à fait perdu sa couleur rouge. Quand on porte sous le microscope de petites parties de cette matière, on vérifie que la plupart des grains, par suite de

1. *The formation*, etc., p. 52-53.
2. *Ibid.*, p. 240-241.

la dissolution du fer, sont devenus transparents et incolores. L'acide acétique exerce à peine une action sur ce sable et même les acides chlorhydrique, azotique et sulfurique étendus[1] n'ont pas la même action que l'acide formé dans le canal intestinal du ver. »

Darwin livre ici par la voie de l'expérience et de la recherche microscopique une confirmation de l'interprétation citée plus haut des couches analogues au sable plombifère, trouvées çà et là dans les forêts de chênes et sur les landes, sous le terreau de broussailles (*Gestrüppmull*) où aucune formation d'Ortstein ne sépare le sable blanc du sous-sol. Le travail de la vie animale même est, sur ce sol sableux maigre, la cause du lavage du fer et la couche qui était décolorée est précisément celle qui était le lieu de l'activité des vers de terre et qui, d'après Darwin, « était passée plusieurs fois à travers le corps des vers[2] ».

Il fait remarquer plus loin que les vers de terre qui dévorent la terre sont pourvus de une ou plusieurs gorges munies d'une peau de chitine épaisse et d'une couche de muscles puissante, qui, quand le ver prend à lui avidement sa nourriture, sont remplies de petites pierres, servant, comme chez les poules, à triturer et à pulvériser la nourriture. De ces conditions de structure chez les vers de terre, aussi bien que de la circonstance que leurs excréments existent en grande partie à l'état d'une poudre fine, Darwin conclut certainement avec plein droit que la digestion du ver n'opère pas seulement un travail chimique de la terre[3], mais aussi un travail mécanique, en pulvérisant ces petits corps minéraux, ou, en d'autres termes : le canal digestif des vers de terre augmente la terre fine. Enfin Darwin indique en passant leur importance pour la formation du salpêtre dans le sol, sur laquelle j'espère revenir dans la troisième partie de ces études.

Si peu considérables que puissent être les effets du travail d'un seul ver de terre, il ne peut y avoir rien d'invraisemblable à ce que la somme d'un grand nombre de petites forces produise un résultat aussi plein d'importance, quand on réfléchit à la grande quantité de

1. Dissolutions faites suivant les données de la Pharmacopée.
2. *Passim*, p. 236.
3. *Passim*, p. 246.

vers[1] qui peuvent se trouver sur une surface — et Darwin ajoute des recherches nouvelles faites sur le même sujet que celles de Hensen, les miennes[2] et celles d'autres auteurs — et si l'on se rappelle que les vers de terre travaillent seulement la superficie de la terre jusqu'à une profondeur de 4 à 12 pouces ($0^m,1046$ — $0^m,3138$), quoique sous certaines conditions de températures, particulièrement en hiver, ils descendent dans la couche profonde du sous-sol, et les galeries d'habitation de quelques espèces s'étendent si profondément pendant toute l'année ainsi que l'ont démontré particulièrement les recherches de Hensen[3]. De la conclusion de Darwin sur l'effet du travail des vers de terre, nous citons ce qui suit, qui mentionne tout particulièrement la présente recherche : « Quand nous voyons une vaste étendue recouverte d'humus, nous devons être portés à penser qu'elle doit sa fertilité, dont sa beauté dépend à un haut degré, principalement à la circonstance que les différents éléments dont le sol est composé sont longtemps travaillés par le fouillement des vers de terre. C'est une conception particulière que toute la couche d'humus de la superficie est conduite sur une pareille étendue par les corps des vers et en un petit nombre d'années passe de nouveau à travers ceux-ci[4].

Maintenant se pose la question de savoir si le riche matériel d'observations du célèbre savant livre une démonstration bien valable

---

1. Par une transformation des deux mots danois « *Dusin* » (*Dutzend*) et « *Tusind* » (*Tausend*), Hensen est arrivé à m'attribuer une curieuse exagération du nombre des vers de terre. Il dit dans son traité, *Ueber die Fruchtbarkeit, etc.* p. 677 : parfois Müller a ramassé sur un pied carré mille *L. purpureus ;* mais, dans mon texte « *Ueber Buchenmull, etc.* », il est écrit, p. 23 : J'ai pu les rassembler souvent par douzaine sur un pied carré.

2. Sur une surface bien nettoyée dans un bosquet du jardin de l'École supérieure d'agriculture de Copenhague, j'ai compté, dans l'automne de 1881, le nombre de galeries de vers fraîches avec des excréments récemment rejetés, qui se trouvaient sur un morceau de terre de 72 pieds carrés ; le résultat fut que 3,8 galeries venaient sur un pied carré, ou moins que ce que j'ai trouvé plusieurs fois dans les forêts. Ces galeries provenaient évidemment toutes du grand ver de terre ; seulement le nombre des vers même a pourtant, d'après l'observation faite par Hensen qu'un ver peut avoir plusieurs galeries de son habitation, été un peu moindre.

3. Voyez le mémoire de Hensen, *Ueber die Fruchtbarkeit etc.* p. 664 et 675.

4. *Passim,* p. 313.

pour la justesse de cette conclusion. Il a un plus grand matériel que nulle part aucun autre pour l'interprétation du mode d'existence des vers de terre et l'effet produit par leur activité et par cela même agrandit à un haut degré le domaine de nos connaissances sur le travail accompli par les vers de terre ; mais il n'a pas livré la preuve contraire : la description de l'état du sol, où les vers de terre ne sont pas actifs et encore moins une explication de l'extension de ces animaux et de la différence dans le travail produit par chaque espèce en particulier. Ses propres observations concernent certainement presque exclusivement deux grandes espèces de vers de terre, qui apportent des excréments à la superficie de la terre[1] ; c'est à peine s'il mentionne d'autres formes.

Il reste donc à accomplir un vaste travail, avant que ces lacunes dans les recherches de Darwin soient comblées, mais on doit faire ressortir que nos observations ont apporté des contributions à l'éclaircissement de la première question, en ce sens que notre conclusion, que le terreau se forme là où les vers de terre exercent leur activité dans une plus grande sphère et la tourbe là où ils manquent, contribue à notre avis à compléter les recherches de Darwin ; nous croyons que les études sur la formation de tourbe, leur cause, leur nature, leur extension et leur influence sur les couches superficielles de la terre sont des moments aussi importants pour la compréhension de la vie animale que des recherches sur celle-ci.

Quoique d'après cela il semble avoir échappé à l'attention de Darwin que de grandes étendues de la superficie du sol ne sont pas habitées par les vers de terre et que l'absence de cette forme animale donne au paysage son caractère d'une façon si grandiose, nous devons pourtant citer le petit nombre de données sur l'extension des vers de terre communiquées par Darwin dans son ouvrage, parce qu'elles concordent tout à fait avec nos observations et contribuent à éclairer son œuvre.

Darwin dit (page 9) : « Les vers de terre s'étendent en Angleterre à beaucoup de places différentes. Leurs excréments se trouvent en une quantité extraordinaire sur les pâturages et sur les champs de

1. *Passim*, p. 9.

sol calcaire si bien qu'ils recouvrent toute la superficie où la terre est pauvre et l'herbe courte et grêle ; mais, ils sont presque aussi nombreux dans quelques parcs de Londres, où la croissance du gazon est bonne et où le sol paraît être riche. Au contraire, les vers sont plus fréquents sur un endroit que sur un autre, sans qu'il y ait une différence visible dans la nature de la terre. Ils sont présents en grande masse dans les cours pavées tout contre les maisons, et on raconte qu'ils ont brisé le sol dans une cave très humide. J'ai vu des vers dans de la terre noire de marais sur un champ bas placé ; mais ils sont extraordinairement rares ou même n'existent pas dans la tourbe brune, filamenteuse et sèche, si hautement estimée par les jardiniers[1]. Sur les étendues sèches, sableuses ou graveleuses, où en dehors du genêt, de la fougère, de l'herbe ordinaire et de la mousse, il ne croît que de la bruyère, c'est à peine si l'on trouve un ver. Mais, dans beaucoup de régions de l'Angleterre, où un sentier court à travers une lande, la superficie de celle-ci est recouverte d'un gazon sauvage incomplet et chétif. Je ne sais pas si cette différence dans la végétation provient de la circonstance qu'elle anéantit les plus grandes plantes par la pulvérisation par les hommes et les animaux, ou bien de ce que le sol est amélioré par la fumure des animaux, mais à de telles places recouvertes d'herbe, on peut trouver souvent des excréments de vers de terre. Sur une lande dans Surrey, qui a été soigneusement examinée, se trouvaient seulement une petite quantité d'excréments sur de tels sentiers, quand ils étaient très raides ; mais sur les surfaces plus plates, sur lesquelles une couche de terre fine est amenée par limonage des places plus escarpées et amoncelée dans une épaisseur de 2 pouces ($0^m,0523$), se trouvaient d'abondants excréments de vers de terre. Ces places paraissaient être tellement peuplées de vers que ceux-ci étaient obligés de pénétrer, du sentier gazonné, à quelques pieds plus loin dans la lande et ici des excréments étaient jetés entre la bruyère ; mais à l'extérieur de cette limite, on ne pouvait trouver aucun excrément de ces animaux. Je crois qu'une couche de terre fine,

1. Darwin pense évidemment, dans l'écrit dont on parle, à la tourbe formée sur le sec.

même mince, qui vraisemblablement conserve longtemps une certaine humidité, est en tout cas nécessaire à leur existence et seule la compression de la terre semble leur être favorable à un certain degré, car ils sont souvent présents en grande quantité sur les anciens chemins caillouteux et sur les sentiers des prairies. Sous les arbres à couronnes larges, on ne trouve que peu d'excréments de vers à certaines époques de l'année, ce qui vraisemblablement tient à ce que l'humidité du sol a été aspirée par succion par les nombreuses racines du sol, car on voit de telles places recouvertes d'évacuations après les fortes averses de pluie ; quoique la plupart des broussailles et forêts donnent asile à un grand nombre de vers, pourtant dans un peuplement de hêtres haut et vieux dans le parc de Knole, où le sol était, sous les arbres, dépourvu de toute végétation, même dans les mois d'automne, sur de grands espaces on ne trouvait aucune trace d'excréments ; néanmoins, sur les clairières recouvertes d'herbe et les bas-fonds il se trouvait de nombreuses évacuations[1]. »

On voit que ces communications sur l'apparition des vers de terre dans les contrées de landes et les forêts, aussi loin qu'elles s'étendent, concordent pleinement avec nos propres observations. Quoique Darwin ne s'explique pas particulièrement sur l'influence exercée par le degré d'humidité ou l'isolation de l'emplacement sur l'existence des vers de terre, il ressort pourtant, abstraction faite des places décrites ici, en même temps d'autres points de son mémoire que la sécheresse lui est défavorable[2].

Cela ressort encore plus clairement des recherches de Perrier. Après avoir indiqué[3] le temps que des vers de terre peuvent vivre dans l'eau pure, quand celle-ci est souvent renouvelée, pour apporter de l'air aux vers, il cite une expression de William, qui considère ces animaux comme ayant à un degré essentiel une organisation d'animaux aquatiques aptes à mener « une existence quasi terrestre ».

---

1. Aussi à d'autres endroits (p. 144-145), il parle d'un emplacement où des vers de terre manquent dans une forêt de hêtres.

2. *Passim*, p. 12, 13, 164, et à d'autres endroits.

3. *Passim*, p. 372.

« Je dis », poursuit-il, « quasi terrestre, car ces animaux peuvent vivre seulement dans une atmosphère saturée d'humidité ; la sécheresse leur est sans comparaison plus préjudiciable qu'une couverture parfaite d'eau ; il suffit de les exposer pendant quelques heures à l'air frais pour les tuer. Tous ceux qui s'échappent du vase rempli de terre humide, dans lequel on peut les conserver vivants indéfiniment, meurent au bout de peu de temps et on peut les trouver sur la terre tout à fait desséchés et durs comme la corne ; une nuit suffit pour produire leur complète dessiccation. » D'après cela on comprendra sans difficulté que les vers de terre doivent périr quand l'écran de la forêt disparaît et que le sol, dans les périodes chaudes et sèches, se dessèche par l'action immédiate du soleil et du vent, la plus grande humidité produite par la formation de tourbe dans la couche superficielle de la terre pendant la saison humide ne pourra pas y remédier.

Le plus récent travail de Hensen sur les vers de terre est essentiellement une étude critique et ne renferme qu'un petit nombre d'observations nouvelles, qui d'ailleurs ont un intérêt important pour notre connaissance de la biologie de ces animaux, mais qui traitent principalement un autre côté de leur activité, que celui que nous avons eu surtout en vue ici, c'est-à-dire l'approfondissement de la couche du fonds produit par eux.

Cet auteur se rallie tout à fait à la conception de Darwin et à la mienne sur la signification des vers de terre pour la formation du terreau, mais il m'adresse le reproche d'avoir porté mon attention en dépit des recherches de Darwin et de mes propres observations, principalement sur l'existence des vers de terre dans les broussailles de landes, « ce qui donne une impression décisive lorsqu'on arrive enfin à tout ce qui concerne les vers de terre », d'admettre la théorie de Darwin que le terreau passait à travers le canal intestinal des vers de terre et que la terre était produite par ces animaux ; il ajoute que personne encore n'a fourni la démonstration de l'existence d'une autre sorte de formation de ce mélange meuble. De plus, Hensen néglige deux moments importants.

Premièrement il se rend coupable d'un anachronisme : Lorsqu'en l'année 1878 je considérais comme juste de faire ressortir expressé-

ment les idées qui s'étaient élevées contre mon interprétation[1], les nouvelles recherches de Darwin n'existaient pas encore et mes propres observations sur l'apparition des vers de terre dans les broussailles de chênes n'avaient pas encore été faites ; elles furent publiées seulement un an plus tard[2]. Ce qui a paru dans ces derniers temps pour l'éclaircissement de cette question a eu pour résultat qu'on devait s'exprimer avec beaucoup plus de prudence et de retenue, qu'il m'avait semblé nécessaire en l'année 1878, bien que je doive aussi soutenir que plus d'un point essentiel concernant cette chose reste encore sans être éclairci. Cela est valable notamment pour la question de savoir si la formation de la couche superficielle du sous-sol, désignée dans cet écrit par *Obergrund* et comptée en partie par Darwin comme terreau, provient d'un dépôt fait par les vers sur le sol d'origine ou seulement d'un travail du sol sans fin, exécuté par ces animaux. Quelques emplacements, même avec une puissance considérable de la couche superficielle du sous-sol, à cause de l'état de très fine division de la terre et de l'absence de pierres, parlent en faveur de la première hypothèse ; sur d'autres emplacements elle paraît tout à fait insoutenable et au contraire la dernière semble nécessaire. Aussi longtemps que nous n'aurons pas une connaissance plus exacte de l'activité et l'exception de chaque espèce en particulier — c'est-à-dire que nous ne pourrons pas négliger avec la même légèreté que Darwin la différence qui en résulte dans la croûte terrestre — aussi longtemps un moment important pour la compréhension de la vie animale sur la nature du sol restera obscur. Mais cela ne concerne à aucun degré essentiel la question de savoir si l'on doit attribuer aux vers une importance décisive pour la formation du terreau meuble ; car cette question se laisse très bien tirer au clair par un examen de la substance même, qui montre que le terreau naturel consiste principalement en excréments de vers frais et en décomposition. Pourtant, je crois que Hensen commet une erreur, quand il pense qu'il n'y a pas d'autre origine du mélange meuble, qu'on nomme *Mullerde* (terre de terreau), car je crois fermement

1. Comparez, p. 89 et 90.
2. *Nogle Træk af Skovens Naturhistorie etc.*

avec certitude, qu'on peut obtenir un résultat tout à fait analogue par un travail artificiel. Dans les pépinières sur la lande, où il n'y a pas de vers de terre et qui pendant une série d'années sont creusées et fumées avec de la marne, de l'argile, des cendres de tourbe et des récoltes de lupins la superficie est formée d'un mélange de terre, qui semble en apparence parfaitement analogue au terreau naturel.

Le second point auquel, à ce qu'il me semble, Hensen a attaché moins d'importance qu'il n'en mérite, est la circonstance que mes recherches se rapportent seulement aux différentes formes de la croûte de terre naturelle, qui, à ma connaissance, n'a été jusqu'ici l'objet d'aucune recherche du même genre. Le premier petit mémoire de Darwin, paru dans le Recueil de la Geological Society, concernait seulement deux emplacements très restreints qui avaient reçu un traitement tout à fait particulier, et le Traité de Hensen se rapportait seulement à la terre de son jardin, etc., tandis que mes recherches portaient sur de grandes étendues de forêts et de landes du Danemark, dans différentes provinces et embrassaient seulement le pays qui, autant qu'on pouvait en juger, n'avait jamais été travaillé de main d'homme et où la nature se présente devant nous sans, pour ainsi dire, avoir jamais été troublée. On doit certainement faire remarquer à ce sujet que des observations de Hensen et de Darwin publiées autrefois pouvaient à la vérité servir d'appui à mes conclusions ; c'est ainsi que je les ai utilisées, mais pas pour en démontrer la justesse ; en outre, les emplacements que nous avions étudiés et les conditions dans lesquelles nous avions travaillé étaient par trop différents. Sur le fait que la présence ou l'absence d'une vie animale, particulièrement des vers de terre, dans les couches superficielles de la terre, conditionne, souvent à une profondeur de plusieurs pieds, leur caractère différent et a une signification prépondérante pour la flore de la contrée en question, pas plus Darwin que Hensen n'avait livré nulle part une observation, lorsque mon mémoire parut en l'année 1878. Voilà pourquoi je considérais comme tout à fait juste d'affirmer seulement avec circonspection l'existence d'un travail grandiose et énergique des vers de terre, car à ma connaissance, ce fait avait échappé jusque-là à l'attention d'autres.

Enfin, Hensen tire des analyses d'excréments de vers de terre que j'ai communiquées, une conclusion qui exprime tout à fait le contraire des résultats tirés par moi de ces analyses, quand il m'objecte d'abord que j'ai passé sous silence quelques analyses semblables faites par lui, qui seraient un appui beaucoup meilleur à mes lois. L'honorable auteur me fait tort à nouveau. Il ressort clairement du texte de mon ouvrage, que l'importance principale a été attribuée à ce fait qu'une partie des excréments de vers de terre est de la terre réelle, avec le même rapport entre les éléments fins et grossiers que dans le sol naturel; en outre, je n'ai pas du tout trouvé surprenant que la perte au rouge des excréments fût plus grande que celle de la terre environnante, parce qu'ils étaient mélangés avec des restes de plantes dures non digérés, en partie en fils, en partie en éléments végétaux sous forme de fragments, comme les écailles de bourgeons, etc., qui, selon toute apparence, doivent être encore plus macérés, avant de pouvoir être complètement travaillés par l'intestin de l'animal. Hensen a voulu établir par ses analyses quelque chose d'absolument différent, c'est-à-dire que les excréments des vers de terre contiennent tout à fait la même quantité de matière organique que le terreau. Mais, comme ses échantillons de terre étaient prélevés sur une couche de pommes de terre dans un jardin où, par conséquent, la terre avait été fortement travaillée à main d'homme, et représentait un emplacement absolument différent du sol forestier naturel examiné par moi, cette analyse n'a donc eu qu'une importance restreinte pour mes conclusions. La teneur des excréments de ces animaux en substance organique doit être au plus haut point différente, suivant l'aliment que l'emplacement leur offre, mais les éléments inorganiques dans les évacuations doivent avoir approximativement le même caractère que le sol environnant et c'est sur ce point que je voulais attirer l'attention en communiquant les analyses en question.

APPLICATION.

Travail du sol.

Abstraction faite des différences produites dans le caractère de nos couches de terre alluviales et diluviales par un changement dans la quantité d'argile et de chaux, les états dans lesquels se trouve la croûte terrestre dans des conditions naturelles peuvent se ramener, en général, à trois types principaux : le sol de terreau, le sol recouvert de tourbe et le sol dépourvu d'humus. Nous voulons, dans la troisième partie de ces études[1], observer de plus près la dernière forme de la superficie et nous borner ici à coordonner, en vue de l'application pratique, ce que nous ont appris sur les deux premières formes les deux précédentes parties.

On avait déjà été amené, après la première série d'études, à conclure que le travail de la croûte terrestre par la vie animale a une importance prépondérante pour la fertilité du sol naturel, et la seconde partie de nos études apporte, à notre avis, outre la confirmation de la loi ci-dessus mentionnée, plusieurs contributions assez importantes pour son interprétation plus exacte.

Comme le travail du sol est considéré seulement, au point de vue de l'œuvre de régénération, comme appartenant à la méthode d'exploitation des forêts, le forestier a dû manquer d'un moyen puissant pour obtenir le développement et la fertilité du sol, ce qui perdait d'autant plus d'importance que la couche superficielle du sol d'un pied ($0^m,3138$) est exposée à des changements qui ont à peine une même étendue dans la terre arable. La couche superficielle de la terre est dans le sol naturel celle qui change le plus facilement et, pour la traiter d'une façon rationnelle, il est, à notre avis, indispensable de posséder une connaissance exacte de l'origine de leurs formes différentes et de leur existence, aussi bien qu'un haut degré de finesse et de sûreté pour l'application pratique.

Le pouvoir absorbant de la terre de forêt n'a été jusqu'ici, à notre

1. Pas encore publiée.

connaissance, l'objet d'aucune recherche, et ce que nous avons communiqué ici n'est pas assez vaste pour fournir plus que des indications; mais celles-ci paraissent être vraiment instructives.

On voit surtout par là que le pouvoir absorbant du terrain superficiel dans le sol naturel n'est en aucune façon très grand, ainsi qu'on l'admet d'ordinaire et qu'il est lié à un degré essentiel à une forme favorable de matière humique mélangée, notamment aux humates neutres et alcalins. Toute transformation du bon terreau meuble doit réagir sur le pouvoir absorbant du sol et par suite aussi sur sa teneur en principes nutritifs des plantes, c'est-à-dire sur sa fertilité.

Il n'y a aucune époque dans la vie d'un peuplement, dans laquelle le sol soit plus fortement atteint que pendant la régénération, et c'est pour cela que nous voyons si fréquemment que pendant cette période un sol forestier fertile, par suite d'une méthode de traitement déraisonnable, est transformé en une surface de culture qui exige les plus grands efforts, jusqu'à ce qu'elle soit à nouveau recouverte d'un bon massif. A cela contribue certainement, à un degré assez considérable, la limitation du pouvoir absorbant résultant des changements dans la marche irrégulière de l'humification.

Tandis qu'ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, nous pensons reléguer dans une troisième partie nos études sur les emplacements, sur lesquels le changement résultant d'un dégarnissement imprévoyant du sol en forme de terreau amène une destruction des éléments humiques de la terre, nous voulons ici observer de plus près les emplacements sur lesquels la transformation consiste principalement en un plus grand développement d'humus.

La transformation prend ce cours, particulièrement sur un sol pauvre en chaux, comme la plupart de nos terres forestières sableuses, qui en vertu de leur caractère d'origine, à cause du manque d'argile ferrugineuse, ne possèdent pas un pouvoir absorbant élevé, ou enfin sur les places où la quantité de cette matière a été très amoindrie par le lavage. De telles terres qui sont le plus exposées à la formation de tourbe, devront donc fournir aux jeunes plantes le sol qui a le pouvoir absorbant le plus faible et par suite aussi le sol le plus pauvre.

Mais cette notion montre au praticien la voie à prendre pour remédier au mal, enfin, une fumure avec la chaux restreindra ou ralentira le développement d'acides humiques libres, et un travail profond, exécuté par exemple au moyen des charrues, conduira plus fortement les éléments absorbants à la croûte terrestre.

Mais le travail lui-même sera le plus sûr moyen d'amoindrir la formation d'acides humiques libres ; car l'humification tourbeuse ne s'accomplit pas avec l'interception de l'air, et là où il ne s'agit pas de couches de sable plombifère puissantes et stériles, certainement le travail suffira à obtenir le pouvoir absorbant et avec cela un côté important de la fertilité du sol. Le résultat favorable connu, qu'on obtient en général, quand on apporte de la terre de forêt avant l'ensemencement ou la plantation, qu'on la travaille et qu'on a obtenu dessus une ou deux récoltes de céréales, ou bien lorsqu'on travaille la terre entre les lignes de plantes, doit être, sur le sol maigre, attribué certainement en partie à cette condition. Là où existent déjà des formations de tourbe moins fortement développées dans des peuplements de hêtres à régénérer, il est à peine possible d'obtenir un résultat moyennement satisfaisant, sans un travail plusieurs fois répété conjointement avec une fumure calcaire, comme cela arrive dans quelques-uns de nos districts forestiers [1].

Mais le travail n'est pas seulement nécessaire pour donner au sol la fertilité, mais aussi pour le rendre habitable par les arbres dont les racines exigent pour leur croissance une terre meuble.

Nous avons vu quel changement important subit la consistance de la terre, aussitôt que la population travailleuse des vers de terre disparaît. Quand le sol renferme 5-10 p. 100 de lehm ou plus, la couche supérieure du sous-sol peut, jusqu'en haut de la croûte terrestre, devenir, ainsi qu'on l'a remarqué, aussi dure que le *Thonortstein;* en tous cas elle est très compacte et ferme. Cela se reconnaît, comme on sait, tout de suite aux arbres dont les cimes se dessèchent aussitôt et qui commencent à être malades. Lorsque la fermeté de la couche supérieure du sous-sol atteint un degré plus élevé, alors

1. H. C. Ulrich, *Om Jordbundsbearbeidning og Besaaning ved den naturlige Bögeforyngelse* (*Tidsskr. f. Skovbr.* T. III p. 175).

les racines des arbres qui s'enfoncent profondément meurent peu à peu et de plus en plus, jusqu'à ce qu'avec le temps elles s'étendent seulement dans la croûte terrestre tout à fait superficielle, ou, comme dans les peuplements de hêtres et d'épicéas sur d'anciennes couches de tourbe puissantes, elles se prolongent tout à fait en haut sur la terre, dans les masses de déchets propres de la forêt. Sur le sable maigre, qui renferme seulement un taux pour cent d'argile faible, le sol n'atteint pas le même degré d'humidité que dans les sols plus riches en lehm, mais ici l'*Humusortstein* construit sur le sous-sol sa couverture presque impénétrable à l'humidité et aux racines des plantes et force les racines des arbres à se contenter du sable plombifère stérile et du feutre de tourbe acide. Enfin, nous voyons qu'aux places où le *Thonortstein* atteint une grande fermeté et s'est avancé jusqu'à la superficie, il limite à un degré dangereux la profondeur du sol qui porte la végétation et intercepte aux racines l'accès des couches plus profondes, si bien que même une superficie pourvue d'un bon terreau ne suffit pas pour produire une végétation puissante, enfin, les arbres se rabougrissent ici ainsi que nous l'avons vu, tout comme sur le sol recouvert de tourbe et produisant l'*Ortstein*. La végétation à de telles places témoigne de la justesse des résultats, notamment de ceux des recherches de Hensen, qui montrent avec la plus haute vraisemblance que les racines des arbres ne peuvent pas elles-mêmes tracer un chemin vers les couches plus fermes du sous-sol, mais suivent les galeries du ver de terre, pour pénétrer dans la profondeur et ainsi ne peuvent se passer du travail du sous-sol effectué par ces animaux.

De tout ce qui existe maintenant sur le caractère naturel du sol et le rapport de la végétation forestière aux différentes formes du sol, aussi bien qu'à l'extension et à l'activité des vers de terre, résulte donc définitivement que jusqu'à présent un point très essentiel a été négligé dans la doctrine de la sylviculture, en ce sens que le travail poursuivi du sol n'avait pas été entrepris avec l'aide des principaux facteurs qu'exige la fertilité de la terre forestière.

L'influence du travail sur la croissance des arbres est d'une importance si péremptoire qu'il était impossible qu'elle pût échapper à l'œil du praticien ; elle est aussi depuis longtemps l'objet de l'obser-

vation, mais elle a été assez mal interprétée : c'est pourquoi on lui a donné des désignations erronées. Il a été, comme on l'a déjà fait remarquer, parfaitement reconnu que tout ce qui favorise la protection et l'ombragement, sert en même temps à la conservation de la couverture feuillue ; comme les emplacements protégés par la couche des masses de déchets annuels de la forêt qui les recouvre, offrent en général un champ excellent à l'activité des vers de terre, c'est là aussi que se trouvent les places de gisement principales du terreau meuble et fertile.

Autant est vieille cette notion, autant infructueuses ont pourtant été les recherches faites en vue de trouver une explication satisfaisante du phénomène. Dans les derniers temps, d'excellentes recherches, notamment celles d'Ebermayer et Wollny, ont apporté à la question des éclaircissements sur le pouvoir fertilisant merveilleux de la couverture sur la terre de forêt dont on a toujours cherché les causes dans les forces inertes, l'influence de la couverture sur les conditions d'humidité, la richesse en principes nutritifs des plantes, etc.

Quelque grande que soit l'importance qu'on doit attribuer à ces recherches et quel que soit le nombre de questions intéressantes qu'elles ont éclaircies, elles n'ont pourtant pas touché le point principal du phénomène, c'est-à-dire le maintien de l'état meuble dans la couche supérieure du sous-sol ; un examen du sol forestier revêtu de tourbe, qui est encore mieux protégé que le sol revêtu de terreau sans pourtant posséder les bonnes propriétés de ce dernier, montre d'une façon suffisamment claire la difficulté de généraliser les résultats auxquels sont arrivés les auteurs en question, relativement à l'influence favorable qu'exerce la couverture du sol formée d'une couche de restes de plantes morts. Nous croyons que maintenant il existe un matériel suffisant pour admettre que ce n'est pas l'influence physique directe, mais bien le travail du sol s'accomplissant sur l'emplacement protégé qui est la cause principale de sa fertilité ; et il semble que, par cette explication, ce qu'on a acquis aussi bien pour l'interprétation théorique du phénomène, que pour son application pratique n'est pas peu de chose.

Si donc, dans notre théorie, le travail du sol est un des moyens

les plus efficaces de la sylviculture rationnelle et intensive pour accélérer et maintenir la fertilité du sol forestier, alors il doit aussi être mis en œuvre, c'est-à-dire entrer dans la pratique forestière ordinaire. Le moyen le plus efficace, d'après cela, est sans doute la protection et le développement de la faune terrestre; de façon qu'on obtienne un sol placé dans les conditions ordinaires de culture: jachère, buttage et ameublissement de la superficie, labourage du sous-sol ou drainage des couches plus profondes. Malheureusement, nous savons jusqu'à présent si peu de chose sur l'extension et le mode d'existence des espèces de vers de terre, que la pratique doit au temps présent attendre de la théorie la réponse à de très nombreuses questions; mais il y a ici un riche champ de recherches forestières qui n'est pas en dehors de la sphère du praticien qui réfléchit; la science des soins à donner au sol de la forêt ne fera sans doute pas de progrès essentiels, si l'on ne prend en considération le travail naturel dans les recherches.

Protection, ombragement, couverture sont pour le sol et sa fraîcheur, d'après tout ce que nous savons jusqu'à présent, les conditions principales de la vie et de l'activité des vers de terre, et le forestier praticien doit concentrer son attention sur ce point à un degré plus élevé qu'autrefois et à la vérité d'autant plus fort que le sol est plus exposé à la perte de ces propriétés. Protection des lisières des forêts, plantations en vue de couvrir les marais de forêts (*Waldmoore*) vides, couverture des petits espaces nus dans les peuplements par des plantations, quand bien même on ne devrait retirer de celles-ci aucun gain direct, couverture des places sans protection avec des ramilles qui peuvent retenir la feuille, toutes ces dispositions sont bien connues et employées en plusieurs endroits, pour maintenir la fertilité du sol forestier. Mais la connaissance du caractère du phénomène permet l'application des moyens d'une manière plus judicieuse. Ainsi, dans nos peuplements se trouvent très fréquemment des clairières, où un examen plus approfondi du sol montrera que de tels travaux de protection sont superflus, et il y a d'autre part des peuplements sur lesquels, comme le montrent des expériences et des observations, ces travaux sont tout à fait insuffisants.

Sur le sol frais, principalement argileux, les clairières et les lisières des peuplements, surtout au côté Nord de ceux-ci, sont couvertes d'une jolie végétation luxuriante de plantes éricacées et un examen plus attentif montre que le sol est recouvert d'excréments de vers de terre et se trouve dans un état physique particulièrement favorable. A de telles places, les moyens de protection, pour accélérer le travail du sol, sont évidemment superflus.

Là où, au contraire, le sol est plus léger, haut placé et exposé au sec, souvent sur des places où la croissance est imparfaite, surtout quand l'accès du vent et du soleil est possible, une végétation misérable apparaîtra, dans laquelle les mousses occupent une place prépondérante et où la superficie attestera une faible formation de tourbe à son début. Si ces places restent abandonnées à elles-mêmes, alors le développement de la tourbe accélérera la ruine de la forêt, les places appauvries s'étendront et les dommages prendront souvent de grandes dimensions.

C'est à peine si l'on peut mettre en doute, que le forestier attentif qui, au premier stade de ces formations, recouvre le sol de ramilles, ou bien, là où c'est faisable, entreprend la création d'un sous-bois qui doit seulement servir à rassembler la feuille et à produire la couverture, peut empêcher que le mal ne s'étende davantage, mais pour un plus grand développement de ce fléau, cela est pour ainsi dire insuffisant. Il est une question que seules des recherches peuvent résoudre : un travail superficiel du sol, si possible conjointement avec une fumure calcaire et une couverture consécutive avec des ramilles, peut-il accélérer le développement d'une formation de tourbe, qui est vraiment à son début? Pour que ce procédé puisse conduire au but, il est indispensable que l'immigration des vers de terre soit possible, que la formation de tourbe se soit donc développée seulement par places, parce qu'autrement on agrandit seulement la couche de tourbe et on donne occasion à la formation de terreau d'insectes, qui n'est pas beaucoup meilleur, en faisant croître la couche de déchets organiques. Quant à savoir s''il est pratiquement possible d'amener à de telles places des vers de terre, notamment le *Lumbricus terrestris,* comme le conseille Hensen, je

veux laisser cette question indécise ; mais on doit cependant recommander de faire des recherches sous ce rapport.

Si la couche de tourbe a un développement plus puissant et que cette formation occupe de plus grandes étendues, alors des installations de la nature de celles qu'on a décrites, par lesquelles on cherche à attirer les vers de terre, n'ont aucune utilité. Nous avons vu que les couches de tourbe d'emplacements secs peuvent contenir des restes de déchets séculaires et que même un peuplement d'épicéas, élevé en futaies pleines, âgé de 80 ans, rend le lieu inhabitable pour les vers de terre. Veut-on ramener le sol à son état de fertilité d'autrefois, on doit alors intervenir par un travail profond du sol semblable à celui entrepris maintenant dans les landes : de cette façon on détruira d'une part la couche de tourbe, et d'autre part on mélangera le sable plombifère avec les éléments absorbants du sous-sol et enfin on divisera et aérera l'*Ortstein*.

Le travail profond du sol, tel qu'il est entrepris d'ordinaire dans les landes comme préparation à une plantation d'arbres, s'accorde tout à fait avec les démonstrations pratiques qui peuvent être empruntées aux observations communiquées plus haut, et la culture de céréales poursuivie pendant quelques années et pratiquée çà et là avant la plantation par la *Haidekultur-Gesellschaft* (Société de culture des landes), là où cela peut se faire convenablement, augmente certainement à un degré élevé l'effet de chaque installation ; mais il reste encore une question à résoudre : l'état favorable où l'on place ainsi le sol peut-il se maintenir indéfiniment sans qu'on recommence continuellement le travail ? Cela ne sera pas possible si l'on ne peut pas produire dans le sol la même faune terrestre qui depuis des milliers d'années garantit le terreau de broussailles (*Gestrüppmull*) contre la décadence. Étant donnée l'activité énorme et pleine de talent déployée actuellement dans les plantations du Jütland, il faut espérer qu'on ne négligera pas d'installer des recherches dans cette direction, d'autant plus qu'on a déjà complètement reconnu que le travail profond du sol est véritablement en état de provoquer une croissance rapide des arbres. Mais ne peut empêcher que les plantations cessent de prospérer après un laps de cinq à dix années et prennent au moins pendant un temps un aspect

maladif; certes, il existe aussi des expériences non douteuses d'où il résulte qu'un travail artificiel renouvelé du terrain peut remettre à nouveau en bon état de croissance un pareil peuplement, sans que l'effet du travail exécuté pour la seconde fois soit de plus longue durée que le premier.

Création des peuplements.

Des circonstances pratiques et surtout des considérations économiques établissent des barrières insurmontables à l'application des indications à suivre pour le travail direct et indirect du sol, qui peuvent être empruntées aux études communiquées ici et qui ont été brièvement esquissées dans le précédent chapitre. Principalement à cause de ces embarras pratiques et économiques, on n'est pas très incité à élaborer de pareilles instructions pour la pratique; c'est pourquoi il paraît aussi convenable de donner, pour le forestier praticien, à cette application des études mentionnées la forme d'un avant-propos à la réflexion, aux recherches et aux observations; et le même caractère doit être attribué aux vues sur les formes des peuplements, sur différents emplacements, qui sont les plus favorables à la conservation de la porosité du sol.

Sur le sol argileux et frais, ce doit être, ainsi que l'apprend l'expérience, toute proportion gardée, relativement facile de conserver la faune terrestre à l'aide des moyens bien connus dont on a parlé plus haut et de s'assurer l'effet de son activité poursuivie. Les dangers auxquels on s'expose ici par une éclaircie imprévoyante et pendant la régénération, consistent en partie en ce que le sol, sous l'action inaccoutumée du soleil, est privé de son terreau, en partie au développement d'une croissance d'herbe qui fait des progrès trop rapides; mais aucun de ces phénomènes n'appartient à ceux qui font l'objet du présent travail.

Mais, aussitôt que l'on a affaire à un sol plus léger et en même temps, comme c'est souvent le cas dans notre pays, à un terrain montagneux, on remarquera bientôt, lorsqu'on observe attentivement de tels emplacements forestiers, ce que le praticien expérimenté sait aussi très bien, que ce qu'on appelle l'appauvrissement du sol

progresse toujours et toujours de plus en plus. Des étendues portant une végétation forestière luxuriante sont interrompues par des places dont la superficie est dure et la croissance arbustive misérable ; le sol n'a pas ici un état de fertilité aussi assuré que dans un pays plus riche et plus frais, quoique plus d'un bosquet qui se trouve en excellente croissance d'une façon inexplicable au premier coup d'œil, témoigne que le sol peut porter une végétation puissante. Le praticien sait très bien qu'il doit apporter la plus grande circonspection dans les soins à donner à un tel sol, surtout pour la régénération, afin que le danger apparaissant à certaines places ne conquière pas, en un temps relativement court, de grandes étendues ; c'est surtout dans nos forêts de hêtres que l'on peut faire ces observations ; mais aussi dans les forêts d'épicéas se montrent des rapports analogues.

Maintenant se pose la question de savoir si les formes de nos peuplements et nos méthodes de régénération ne peuvent pas être modifiées de façon à ce que nous soyons mieux en état d'assurer le travail poursuivi du sol et par là de lui conserver sa fertilité.

Nous avons vu que différentes formes de peuplements ne sont pas au même degré en état de conserver à la longue la faune terrestre travailleuse ; celle-ci s'est maintenue sur le sol le plus maigre dans les forêts de chênes, durant des milliers d'années, et peut vraisemblablement se maintenir pendant un temps aussi long dans les forêts de pins sylvestres, tandis qu'évidemment un petit nombre de générations de forêts de hêtres, peut-être aussi d'épicéas, peuvent suffire à l'anéantir. La première méthode qu'on pourrait tirer de ces observations, serait bien de s'en tenir, sur un sol qui est encore en forme de terreau, mais qui en vertu de son caractère est très exposé à une formation de tourbe, à la culture d'essences capables de maintenir le plus facilement le sol dans son état de porosité. Seulement ce programme n'a évidemment que peu de chances de succès d'application pratique, le caractère des peuplements dépendant, dans les forêts artificielles, principalement de moments économiques, et devant d'après cela subir d'importantes modifications pour devenir applicable.

Sous ce rapport, un mélange convenable me paraît être d'une utilité particulière. Quand, sur un sol comme celui dont on parle,

on interrompait les grandes régénérations uniformes de hêtres par une essence de lumière disséminée en bosquets de bois, comme les chênes ou les pins sylvestres, parmi lesquels des halliers (touffes d'arbrisseaux) ou des essences protégeant le sol pouvaient immigrer ou être apportées, on avait obtenu ainsi, quand de tels groupes occupaient au moins 1/4 à 1/2 de la surface du peuplement, une excellente protection du sol et créé une quantité de places pour ainsi dire imprenables par la faune terrestre, sans renoncer à l'essence principale. Il n'est pas difficile de se convaincre, par des voyages dans nos forêts, de l'utilité d'un pareil mélange, car, là où de plus grands peuplements de hêtres sont interrompus çà et là par des groupes de chênes, le sol se montrera aussi dans les forêts de hêtres en un meilleur état que sur la surface où n'existe pas de mélange.

La forme de la forêt prendrait de la ressemblance avec les peuplements mélangés de hêtres et de chênes rétablis par des régénérations en forme d'échiquier, ainsi qu'on en a établi dans les célèbres forêts de mélange de chênes et de hêtres dans le Spessart, dont le sol a tout à fait le même caractère que notre sol forestier léger, assez faiblement argileux et qui, à cause de cela, offre à beaucoup de places dans les peuplements purs de hêtres un exemple de formations de tourbe à leur début.

Il y a de plus une conclusion voisine, à savoir, que plus le sol se montre exposé à la formation de tourbe, plus la régénération des hêtres devrait être conduite avec prudence et énergie. Cette régénération doit donc, d'après cela, au moyen de petites surfaces de culture et d'une plantation rapide des parties non régénérées naturellement, autant que le plan d'exploitation le permet, se rapprocher des régénérations dans les forêts exploitées en jardinage, dans lesquelles, comme on sait, le travail de régénération est beaucoup plus facile que dans de grandes surfaces de culture ouvertes une fois. La régénération des hêtres, très lente et conduite avec prudence en France, et la régénération naturelle à l'aide d'une réserve moderne, pratiquée en Allemagne et qui a beaucoup de ressemblance avec le procédé français, ont tous deux pour but de rendre le passage à une régénération aussi imperceptible que possible. Par

cela, conformément à l'expérience, on conserve le mieux au sol son état poreux, le domicile de la faune terrestre ne change son caractère à aucun degré essentiel et le succès de la régénération est par cela même plus assuré.

Sur les couches de tourbes d'ancienne formation dans les forêts de hêtres, particulièrement aux places où un peu d'argile contribue à donner de la fermeté au sol, un travail si vaste est indispensable pour créer à nouveau une terre poreuse en forme de terreau, que la pratique ne peut nulle part s'engager dans l'entreprise d'un pareil travail. Ici la culture forestière doit se limiter à des essences dont le système de racines est superficiel, notamment l'épicéa, qui croît très bien dans la tourbe de hêtres, un chemin que la pratique a aussi depuis longtemps battu chez nous, alors que le développement de l'épicéa dans nos forêts à sol maigre indique dans les grands traits justement l'étendue des espaces sur lesquels la transformation du sol d'état meuble à un état très dur exclut une série d'autres essences.

Quelques recherches chimiques et physiques sur le sol des forêts de landes.

Par C. F. A. TUXEN

Comme suite aux recherches sur le sol de la forêt de hêtres communiquées dans la première partie du présent écrit, j'ai entrepris, sur le désir exprimé par le Dr Müller, la série de déterminations d'azote et de recherches d'absorption qu'on trouvera ci-après. Ces recherches ont été entreprises sur 11 profils de terre des différentes régions du pays et avec les données communiquées auparavant sur 11 autres places, il y a donc en tout dans ces deux parties, sans compter un nombre assez considérable de déterminations d'azote partielles, des séries plus vastes de recherches portant sur 22 emplacements différents dans les régions forestières et de landes. Comme les déterminations d'azote en question sont déjà citées dans l'écrit du Dr Müller, elles ne seront pas répétées ici. Le but des recherches que j'ai entreprises était de livrer la base indispensable, acquise par les moyens chimiques pour les études sur le terreau et

la tourbe dans les forêts de chênes dont traite la publication, et je n'ai d'après cela aucune raison de donner les résultats des recherches, puisqu'ils ont déjà été développés. Je veux à cause de cela seulement indiquer que les échantillons de terre sur lesquels ont porté les recherches m'ont été livrés par le Dr Müller, et que les descriptions des emplacements, que je donne plus bas, sont rédigées par lui. Les nombres courants des profils désignent les recherches, comme une suite immédiate aux travaux analytiques du même genre livrés à la première partie de cet écrit.

La tâche qu'on m'avait tracée consistait à déterminer le pouvoir absorbant dans les couches de terre, qui se trouvent sous les différentes formes de dépôts humiques établies par le Dr Müller. A cause de cela, les recherches d'absorption sont le point principal et les déterminations mécaniques et chimiques doivent seulement servir à établir, d'une façon plus tranchée qu'une description faite d'après un examen oculaire seul, la diagnose des matériaux de recherche. L'extension qui, pour chaque profil, a été donnée à l'analyse mécanique et chimique est déterminée suivant le désir exprimé pour chaque cas par le Dr Müller et leur caractère basé à cause de cela plus sur ses recherches que sur la tâche que j'avais entrepris d'accomplir.

Les recherches d'absorption sont faites suivant la façon indiquée par Knop: 50 grammes de terre fine sont employés pour une dissolution de 100cc. Les résultats sont donnés dans les tableaux suivants — ce qui au point de vue théorique est un peu incorrect, — établis au quantum que 100 parties de terre exempte de pierres peuvent absorber d'une dissolution de 100cc.

Le rapport de la terre fine à la terre exempte de pierres est établi, cela va sans dire, par un simple calcul proportionnel, après la détermination de la terre fine dans chaque échantillon.

Dans les recherches, on employait une dissolution de chlorhydrate d'ammoniaque qui correspondait à une dissolution de 0gr,233 d'ammoniaque dans 100cc. Pour déterminer l'absorption de la potasse, on employait une dissolution renfermant 0gr,471 de potasse dans 100cc et pour l'absorption de l'acide phosphorique, on se servait d'une dissolution de sulfate de soude neutre, qui renfermait 0gr,352 d'acide phosphorique dans 100cc.

Dans les analyses mécaniques, *Kies* (grès) désigne les parties du squelette qui ont une grosseur de 1 à 2 millimètres, *grober Sand* (sable grossier) celles dont la grosseur est supérieure à 1 ou 2 millimètres, et *feiner Sand* (sable fin) celles dont la grosseur est inférieure à 1/3 de millimètre.

Sols forestiers en forme de terreau (Mullartig) *et argileux* (lehmige).

Profil XII. Gelsskov, 1. District forestier de Copenhague (Seeland). Côté Nord de la montagne de Gel (*Gelshügel*) ; faible talus (*Böschung*), exempt d'humidité permanente. Très jolie forêt de hêtres de 60 à 70 ans, en excellente croissance. Terreau sombre de 3 pouces ($0^m,0784$); sol silicéo-argileux (*sandig-lehmiger*) de 12 pouces ($0^m,318$) ; *Thonortstein* pas fortement caractérisé. Les échantillons sont prélevés au voisinage du profil III (1re partie, page 125).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.			
	4-8 pouces ($0^m,1460$-$0^m,209$).	12-22 pouces ($0^m,3138$-$0^m,615$).	27-33 pouces ($0^m,7461$-$0^m,903$).	36-42 pouces ($0^m,9815$-$1^m,1384$).
Grès	0,90	1,00	1,21	1,11
Sable grossier	8,90	9,00	10,19	8,39
Sable fin	65,35	66,32	53,72	50,09
Argile	17,10	17,32	26,20	32,00
Humus	1,35	0,56	0,22	0,21
Eau chimiquement combinée	1,93	1,64	2,62	1,82
Eau hygroscopique	2,53	1,60	1,50	2,50
Oxyde de fer	1,49	1,97	2,24	1,96
Alumine	0,45	0,59	2,10	1,92
Total de la terre fine	90,20	90,00	88,66	90,50
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*				
Ammoniaque	0,074	0,040	0,088	0,123
Potasse	0,077	0,019	0,099	0,215
Acide phosphorique	0,173	0,173	0,163	0,159

Profil XIII. Même emplacement que profil XII. Les échantillons de terre examinés sont un mélange de trois pris dans des trous distants l'un de l'autre d'environ 10 ellen (138^{m},06), prélevés exactement à la même profondeur et enfin, soigneusement mélangés : le mélange fut alors soumis à la recherche. Le *Thonortstein* commença ici à une profondeur de 14 à 16 pouces (0^{m},376-0^{m},428).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	0-4 pouces (0^{m}-0^{m},1046).	4-8 pouces (0^{m},1046-0^{m},209).	8-12 pouces (0^{m},209-0^{m},3138).
Grès	1,23	1,63	2,61
Sable grossier	15,00	9,43	10,83
Sable fin	66,42	65,80	60,44
Argile	9,29	16,75	17,99
Humus / Eau chimiquement combinée	3,71	2,91	2,50
Eau hygroscopique	2,31	1,30	2,80
Oxyde de fer	1,66	1,82	2,30
Alumine	0,38	0,36	0,53
Total de la terre fine	83,00	90,00	87,00
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :			
Ammoniaque	0,047	0,042	0,024
Potasse	0,081	0,086	0,063
Acide phosphorique	0,154	0,219	0,230

Profil XIV. Store Hareskov, 2. District forestier de Copenhague (Seeland). Terrain plat bien drainé. Boqueteau de perches de hêtres de 30 ans, en futaies pleines et en bon état de croissance ; terreau sombre de 2 pouces (0^{m},0523) ; couche supérieure du sous-sol sableuse, gris jaune, meuble, de 17 pouces (0^{m},4546) ; *Thonortstein*, très ferme, plus fréquemment blanc gris, de 19 pouces (0^{m},5069), en haut argileux-sableux, à une plus grande profondeur siliceux et pierreux. Le profil correspond tout à fait au profil I décrit dans la

1re partie, page 124, et se trouvait dans le même peuplement à une distance faible de ce profil.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches du sol examinées.			
	0-2 pouces (0m-0m,0523).	2-6 pouces (0m,0523-0m,1569).	6-10 pouces (0m,1569-0m,2615).	10-20 pouces (0m,2615-0m,523).
Grès	2,62	4,41	3,81	5,43
Sable grossier	18,43	20,19	10,68	12,45
Sable fin	51,38	54,95	62,26	61,65
Argile	10,80	11,21	13,42	12,60
Humus	6,43	1,44	0,85	0,18
Eau chimiquement combinée	0,89	0,67	0,83	0,88
Eau hygroscopique	7,35	4,23	3,15	2,11
Oxyde de fer	0,96	1,16	2,08	2,32
Alumine	1,14	1,74	2,92	2,08
Total de la terre fine	79,85	75,40	85,51	82,12
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*				
Ammoniaque	0,061	0,048	0,047	0,038
Potasse	0,040	0,062	0,014	0,038
Acide phosphorique	0,032	0,043	0,077	0,167

Sol forestier argileux (lehmiger) *recouvert de tourbe.*

Profil XV. Strandskov, Teglstruper Gehege, 1. District forestier de Kronborg (Seeland). Plateau montagneux, haut placé. Vieille coupe d'ensemencement ouverte; forêt de hêtres d'environ 200 ans, avec des arbres bas, à cimes desséchées, tourbe ferme, compacte, feuilletée, de 2 à 3 pouces (0m,0523-0m,0784), sable plombifère blanc gris, de 4 à 5 pouces (0m,1046-0m,1307); terre rouge ferme, de 4 à 5 douces (0m,1046-0m,1307); le sous-sol lehm sableux. L'emplacement examiné correspond tout à fait aux profils VII et VIII (1re par-

tie, pages 129, 130 et 131) et se trouve dans le même peuplement que ceux-ci.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	5,30	7,00	10,40
Sable grossier	17,70	22,75	22,81
Sable fin	57,95	40,19	42,56
Argile	16,23	21,50	19,52
Humus	0,54	2,85	0,50
Eau chimiquement combinée	0,64	0,88	0,86
Eau hygroscopique	1,38	3,29	1,34
Oxyde de fer	0,12	0,80	1,02
Alumine	0,14	0,74	0,99
Total de la terre fine	77,00	70,25	66,79
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,013	0,045	0,021
Potasse	0,084	0,158	0,112
Acide phosphorique	»	0,185	0,076

Sol forestier sableux recouvert de tourbe.

Profil XVI. Sölleröd Kirkeskov, 1. District forestier de Copenhague (Seeland). Bosquet Nord à la lisière d'une forêt de hêtres âgée de plus de 200 ans, ouverte vers l'Ouest et soumise pendant une très longue série d'années (au moins cinquante ans) à l'action violente du vent. La hauteur des arbres est d'environ 70 pieds (21^{m},96) et leurs cimes commencent à se dessécher.

Tourbe pas très ferme, de 3 pouces et demi (0^{m},0915) ;

Sable plombifère blanc gris, de 3 pouces et demi ;

Humusortstein terreux sur un sous-sol de sable argileux, fin, jaune, de 3 à 4 pouces (0^{m},0784 à 0^{m},1046).

L'échantillon du sous-sol a été prélevé à un éloignement de la superficie variant de 14 à 21 pouces (0m,376 à 0m,2105).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	1,00	0,70	0,60
Sable grossier	13,36	12,34	10,80
Sable fin	68,64	66,76	76,80
Argile	12,74	10,08	8,30
Humus	2,02	4,14	0,76
Eau chimiquement combinée	0,97	0,86	0,51
Eau hygroscopique	0,45	1,51	0,63
Oxyde de fer	0,43	2,56	1,10
Alumine	0,39	1,10	0,50
Total de la terre fine	85,6	86,9	88,6
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :			
Ammoniaque	0,034	0,090	0,030
Potasse	0,048	0,100	0,010
Acide phosphorique	0,041	0,215	0,113

Profil XVII. Nordskov, District forestier de Silkeborg (Jütland).

Ligne de vallée haut placée, bornée par des parties montagneuses pas beaucoup plus élevées, avec une forêt de chênes très mauvaise et élevée en futaies imparfaites.

Tourbe compacte et ferme de 1 à 2 pouces (0m,026 à 0m,0523) ;

Sable plombifère blanchâtre de 12 pouces et demi (0m,3268) ;

Ortstein sur sable jaune de 6 pouces (0m,1569).

L'échantillon du sous-sol a été prélevé à 38 pouces (1m,0338) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	12,00	13,69	12,69
Sable grossier	37,58	39,61	29,72
Sable fin	47,45	34,20	52,88
Argile	1,10	4,39	0,87
Humus	1,25	3,75	1,62
Eau chimiquement combinée	»	»	»
Eau hygroscopique	0,56	1,84	0,78
Oxyde de fer	0,05	2,08	0,95
Alumine	0,01	0,44	0,49
Total de la terre fine	50,42	46,70	57,59
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,003	0,013	0,007
Potasse	0,046	0,062	0,055
Acide phosphorique	»	0,114	0,041

Sol de lande recouvert de tourbe.

Profil XVIII. Plantation de Holt dans le Kirchspiel Rind, Amt-Ringkjöbing (Jütland). Plateau assez haut placé, avec une faible pente au Nord ; lande laissée en repos avec une végétation puissante de bruyères.

L'emplacement appartient aux parties de landes montagneuses et doit être désigné comme bon sol de lande. Croûte de lande de 3 pouces ($0^m,0784$), sable plombifère de 4 pouces ($0^m,1046$), *Humusortstein* de 10 pouces ($0^m,2615$), de même aspect et de même caractère que la couche T (tableau III, fig. 4). L'emplacement doit être compté parmi les plus secs et la couche désignée par a''' sur cette figure n'avait pas du tout à cause de cela un développement plus grand que la couche correspondante dans les figures 6 et 7 du tableau III. L'échantillon du sous-sol a été prélevé entre 18 et 24 pouces ($0^m,480$ et $0^m,6676$) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	SABLE plombifère.	ORTSTEIN.	SOUS-SOL.
Grès	4,82	3,75	7,00
Sable grossier	22,70	24,63	36,72
Sable fin	68,97	44,29	41,41
Argile	2,54	1,85	10,69
Humus	0,34	8,87	1,11
Eau chimiquement combinée	»	»	0,33
Eau hygroscopique	0,21	13,49	0,84
Oxyde de fer	0,28	1,94	1,35
Alumine	0,14	1,18	0,55
Total de la terre fine	72,5	71,6	56,3
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,003	0,065	0,016
Potasse	0,116	0,231	0,010
Acide phosphorique	»	0,331	0,108

Recherches comparatives sur le sol dans le bosquet de chênes et la lande, près Viborg (Jütland).

a. — Sol de terreau du bosquet.

Profil XIX. *Viborg Krat.* District forestier de Viborg. — Terrain à pente très faible (90 pieds [28^m,25] au-dessus de la mer), sur le passage entre les landes montagneuses et les plaines de landes, à 40 pieds (12^m,65) de la limite Est de boqueteau, peuplé d'un très bon perchis de chênes, provenant de la croissance des rejetons ; le sol est recouvert par la flore du terreau de broussailles (*Gestrüppmull*), terreau grisâtre de 1 à 2 pouces (0^m,026-0^m,052), structure d'excréments de vers de terre ; sable jaune gris et parfaitement meuble de 7 à 8 pouces (0^m,183-0^m,235), dont la coloration grisâtre se perd peu à peu avec la profondeur ; couche de terre jaune-brun clair de 8 pouces (0^m,209), dont la couleur se laisse à peine distinguer de celle du sous-sol ; celui-ci consiste en sable de lande ordi-

raire jaune d'ocre. L'échantillon de la couche superficielle a été prélevé de 3 pouces (0m,0784) de la superficie, celui de la couche moyenne à 12 pouces (0m,3138) et celui de la couche la plus inférieure à 23 pouces (0m,6415).

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	3 pouces (0m,0784). — Terreau.	12 pouces (0m,3138). — Ortstein.	23 pouces (0m,6415). — Sous-sol.
Grès	4,53	5,24	5,63
Sable grossier	28,63	27,12	29,01
Sable fin et argile[1]	61,24	62,49	62,56
Humus (perte ou rouge)	2,73	2,18	0,53
Eau hygroscopique	1,87	1,65	1,10
Oxyde de fer / Alumine	1,00	1,32	1,17
Total de la terre fine	66,84	67,64	65,36
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,037	0,035	0,023
Potasse	0,035	0,059	0,049
Acide phosphorique	0,137	0,185	0,129

1. Dans les Profils XIX, XXI et XXII, la petite quantité d'argile n'a pas été déterminée particulièrement; on doit admettre que, comme pour le Profil XX, elle s'élève à 2 p. 100.

Profil XX. Forêt de chênes de Hald, appartenant au Bien de Hald, 150 pieds (47 mètres environ) au-dessus de la mer. — Terrain à pente faible, talus oriental recouvert d'une forêt de chênes âgés de 100-200 ans, irrégulière et élevée en futaies imparfaites. Le sol, recouvert d'une couche mince de feuilles de chênes, porte une végétation d'arbrisseaux de genévriers disséminés, de buissons isolés d'airelle-myrtille, aussi bien que d'un peu d'herbe, fougère aigle et de *Melampyrum*. Terreau grisâtre de 2 à 3 pouces (0m,0523-0m,0784); sable parfaitement meuble, gris blanc, de 6 pouces (0m,1569); couche jaune brun, nettement développée de 6 à 8 pouces (0m,1569-0m,2093),

qui a tout à fait la même consistance que le sous-sol qui, ordinairement, consiste en sable de lande ordinaire, couleur d'ocre. Un profil de caractère tout à fait analogue et du même emplacement, mais de puissance un peu différente dans les couches isolées, est représenté par la figure 5 du tableau III.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	4-5 pouces (0m,1046-0m,1307). — Sable plombifère.	12 pouces (0m,3138). — Ortstein.	24 pouces (0m,6676). — Sous-sol.
Grès	4,40	4,80	6,00
Sable grossier	26,00	25,40	26,80
Sable fin	65,66	62,34	60,68
Argile	3,00	3,00	3,25
Humus (perte au rouge)	0,56	1,76	1,04
Eau hygroscopique	0,10	0,95	0,80
Oxyde de fer / Alumine	0,28	1,75	1,43
Total de la terre fine	69,60	69,80	67,20
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,022	0,033	0,027
Potasse	0,036	0,029	0,028
Acide phosphorique	0,024	0,220	0,087

b. — **Jeune lande portant une végétation de bruyère.**

Profil XXI. Plantation de lande de Viborg. District forestier de Viborg. — Terrain plat (85 pieds [27m,077] au-dessus de la mer), près des limites qui ne sont pas clairement reconnaissables dans le terrain, entre les montagnes et les plaines de landes, à 40 pieds (12m,65) de la limite orientale du Viborg Krat et 80 pieds (25m,508) du profil XIX. Le sol était recouvert d'une végétation de bruyère haute et puissante, à côté de bosquets de genêts et de genévriers, et d'une couche puissante d'Hypnum ; les lichens n'existaient pour ainsi dire pas, et la camarine noire ainsi que l'alisier blanc manquaient complètement. La cou-

che superficielle du sol consistait en un fil tenace, sombre, composé de sable humique et de racines de bruyères, avec une faible formation de tourbe. Jusqu'à une profondeur de 10 pouces ($0^m,26154$), le sol était grisâtre, couleur terreau, avec une coloration moins claire, analogue à celle du sable plombifère dans le tiers le plus inférieur et une coloration qui s'assombrissait de plus en plus vers la superficie du sous-sol. La partie superficielle du sous-sol, de 8 pouces ($0^m,2092$), se distinguait clairement des couches plus profondes, couleur d'ocre, de celui-ci et avait la même coloration que les parties en question dans les profils XIX et XX, mais un peu plus brunâtre. Toutes ces couches étaient parfaitement terreuses et faciles à creuser, mais la couche supérieure du sous-sol pourtant moins facile que le terreau meuble de la broussaille ; chaque coup de bêche conservait sa forme, notamment dans la couche supérieure du sous-sol. Le profil est représenté par la figure 3 du tableau III. Les échantillons de terre ont été prélevés à une distance respective de 4, 11 et 23 pouces ($0^m,1046$, $0^m,2876$ et $0^m,6415$) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.		
	4 pouces ($0^m,1046$). — Sable plombifère.	11 pouces ($0^m,2876$). — Ortstein.	23 pouces ($0^m,6415$). — Sous-sol.
Grès	3,81	2,73	2,01
Sable grossier	30,80	21,10	15,21
Sable fin et argile	59,92	71,07	79,72
Humus (perte au rouge)	3,30	2,05	0,61
Eau hygroscopique	1,12	1,37	1,24
Oxyde de fer / Alumine	1,05	1,68	1,21
Total de la terre fine	65,39	76,17	82,78
100 *parties de terre exempte de pierres ont absorbé :*			
Ammoniaque	0,055	0,041	0,014
Potasse	0,129	0,071	0,027
Acide phosphorique	0,193	0,269	0,098

c. — **Lande en complet développement.**

Profil XXII. Plantation de lande de Viborg. District forestier de Viborg. — Terrain plat (80 pieds [25^m,508] au-dessus de la mer) à la limite qui n'est pas reconnaissable dans le terrain entre les montagnes et les plaines de landes, à environ 1,900 pieds (environ 596 mètres) de la frontière orientale du boqueteau de Viborg et également éloigné des profils XX et XXI. Le sol est recouvert de la végétation typique de la lande : bruyère, camarine noire, alisier blanc, etc. La couche superficielle de 3 pouces (0^m,0784) est de la tourbe de lande normale; dessous, du sable plombifère de 6 pouces (0^m,1569), qui est fortement coloré en haut et en bas par des dépôts de particules d'humus, ce qui rend complètement confuse la limite avec les couches contiguës; sous le sable plombifère se trouve de l'Ortstein tourbeux, assez ferme, mélangé à différents degrés avec des grains de sable blancs et qui n'est pas nettement séparé de l'*Humusortstein* très dur, irrégulièrement coloré, sombre en haut, d'une puissance de 8-10 pouces (0^m,209-0^m,2615). Le profil est dessiné sur le tableau III, figure 4. Les échantillons de terre ont été pris à des distances respectives de 3, 8, 14 et 23 pouces (0^m,078, 0^m,209, 0^m,376 et 0^m,641) de la superficie.

DÉSIGNATION des échantillons de terre analysés.	ÉLOIGNEMENT de la superficie des couches de terre examinées.			
	3 pouces (0^m,0784). — Sable plombifère.	8 pouces (0^m,209). — Torfortstein.	14 pouces (0^m,3761). — Humusortstein.	23 pouces (0^m,6415). — Sous-sol.
Grès	4,56	7,50	3,86	6,23
Sable grossier	35,03	36,21	30,41	30,45
Sable fin et argile	56,83	45,17	61,68	61,73
Humus (perte au rouge)	2,13	6,01	1,78	0,64
Eau hygroscopique	0,73	3,13	0,99	0,30
Oxyde de fer Alumine	0,72	1,98	1,28	0,65
Total de la terre fine	60,41	56,29	65,73	63,22
100 parties de terre exempte de pierres ont absorbé :				
Ammoniaque	0,036	0,063	0,031	0,021
Potasse	0,075	0,068	0,050	0,028
Acide phosphorique	0,096	0,353	0,325	0,051

III.

APPENDICE

1887

Pendant les trois dernières années, plusieurs recherches nouvelles et considérables sur les transformations s'opérant dans la croûte superficielle de la terre, sous l'influence de facteurs mécaniques et chimiques, surtout sur la formation de l'Ortstein, ont paru dans la littérature allemande. Nous les devons surtout au Dr Ramann, d'Eberswalde [1]; pourtant les savants collaborateurs du directeur des forêts Emeis, à Flensburg, le professeur Emmerling et le chimiste G. Loges, à Kiel, ont, par une série d'analyses de terre, livré des contributions pleines de valeur à la façon de concevoir le caractère des sols de forêts et de landes [2], et aussi des recherches faites par d'autres ont mentionné occasionnellement les rapports en question.

Ramann publie une série considérable de très bonnes analyses de sols sableux avec Ortstein du Schleswig-Holstein, de la lande de Luneburg, Hanovre, Poméranie et Bohême. Pour arriver à une compréhension des processus qui se passent dans le sol, il a employé le même procédé que celui utilisé dans les précédentes publications, c'est-à-dire une analyse chimique des différentes couches de terre qui apparaissent de haut en bas dans le profil de sol obtenu par le creusement; il déduit de ses recherches les résultats suivants :

---

1. E. Ramann, *Ueber die Verwitterung diluvialer Sande*, u. *Der Ortstein und ähnliche Secundärbildungen* (*Sur la décomposition des sables de Diluvium* et *l'Ortstein et les formations secondaires analogues*) [*Jahrbuch der Königl. preuss. geologischen Landesanstalt für* 1884 *und* 1885]; *Ueber Bildung und Kultur des Ortsteins* (*Sur la formation et la culture de l'Ortstein*) [Dankelmann, *Zeitschr. für Forst- und Jagdwesen*, 1886].

2. A. Emmerling und G. Loges, *Gutachten über Untersuchungen der Haupthumusarten unserer Provinz auf Anregung des Herrn Forstdirektors Emeis erstattet* (*Rapports sur les recherches des sortes principales d'humus de notre province faites à l'instigation de M. le directeur des forêts Emeis*). [*Vereinsblatt des Haide-Kultur-Vereins für Schleswig-Holstein*, 1866, p. 63-70, 82-88.]

« Le sable plombifère se laisse caractériser comme un sable faiblement humique, dépouillé par la décomposition et le lavage de presque toutes les substances minérales, à l'exception des acides siliciques [1].

« L'Ortstein est un sable cimenté par des matières humiques, c'est-à-dire un grès d'humus (*Humus-Sandstein*).... Si de telles couches » — le sable plombifère — « sont jusqu'à un certain degré épuisées, alors les eaux de pluie et de neige dissolvent les matières humiques, les conduisent dans la profondeur et les précipitent de nouveau sur des parties plus riches en sel. Un sable cimenté par une telle matière humique dissoute et à nouveau précipitée, est l'Ortstein [2].

« L'Ortstein est essentiellement un produit de précipitation et le gisement suit, parce que l'action est essentiellement limitée sur cette couche. Le fer limoneux, au contraire, est une concrétion.... [3] », etc.

Emmerling et Loges sont conduits à des résultats analogues par leurs excellentes analyses, poussées encore plus loin, de cinq sols différents, parmi lesquels se trouve pourtant un échantillon d'Ortstein [4].

On voit donc que la méthode de recherche employée ainsi que les résultats obtenus concordent entièrement avec ceux des publications précédentes [5]. Mais on ne trouve pas ordinairement dans les travaux scientifiques la façon dont le Dr Ramann, relativement à ces points, renvoie le lecteur à la littérature qu'il a utilisée. Cela se trouve seulement cité dans l'introduction de son œuvre principale. « Les nombreuses analyses de Tuxen se tiennent en harmonie avec celles de l'auteur. Beaucoup des vues exposées ici sur les formations d'Ortstein et de lande se trouvent en partie représentées, en partie exprimées dans Emeis : *Recherches forestières* (*Waldbauliche Forschungen*) et dans Müller, *Studier over Shovjord.* » Le fait que cette démonstration générale n'est pas suffisante ressort de ce que le Dr Ramann mentionne les lois citées « comme une théorie établie

1. *Jahrb.*, p. 37.
2. *Loco citato*, p. 38-42.
3. *Loco citato*, p. 15.
4. *Passim*, p. 83.
5. Comparez Résumé, p. 182.

par l'auteur[1] ». Emeis dit à ce propos[2] : « Cela devrait s'appeler la théorie formulée par Emeis dix ans auparavant. » Il est cependant douteux que cette rectification puisse être acceptée aussi en fait, parce que certes Emeis a vu dans le sable plombifère une formation de nouveau quartz[3], « *eine Neuquartzbildung* » et dans l'Humusortstein une formation de concrétion[4], « *eine Concretionsbildung* ». Une révision critique de la littérature qui a rapport à ces questions devrait pourtant peut-être réfuter autre part le droit de priorité sur les lois simples mentionnées, quoique Emeis, dans ses publications pleines de valeur à certains points de vue, n'a pas tout à fait négligé celles-ci, comme cela a été déjà mentionné page 278. Dans deux questions de détails et une question principale, le Dr Ramann semble pourtant faire ressortir des vues différentes de celles exposées dans ce travail ; je dois me permettre de revenir ici sur ce point, non pas pour réfuter l'opinion du célèbre auteur en question, mais seulement pour ajouter quelques observations nouvelles, qui ne seraient pas sans valeur pour la compréhension du caractère des formations dont on traite ici.

Pour l'explication de la formation d'Ortstein le Dr Ramann se rapporte au phénomène connu que les acides humiques se dissolvent dans l'eau pure, avec l'addition d'une solution saline, particulièrement de terres alcalines, mais que les terres sont à nouveau précipitées. Si maintenant la couche de terre superficielle est, pendant la formation du sable plombifère, épuisée jusqu'à un certain degré en substances minérales, alors les eaux de neige et de pluie dissolvent les matières humiques, les conduisent dans la profondeur et les précipitent à nouveau sur les parties plus riches en sels. Pourquoi Ramann n'appelle-t-il pas ce phénomène une absorption, ainsi que l'a fait l'auteur ? D'après König[5], l'absorption des acides humiques est due justement à ce que la chaux, la magnésie, l'oxyde de fer et l'alumine forment des sels doubles insolubles. S'il admet que la pré-

1. *Jahrb.*, p. 46.
2. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 1866 p. 258.
3. Comparez, p. 278, 281 et 282.
4. Comparez, p. 278, 287 et 288.
5. *Landw. Jahrb.* T. XI, 1882.

cipitation des matières humiques arrive dans l'Ortstein d'une autre façon[1] que dans les autres couches du sol, alors toute démonstration manque pour une telle hypothèse. Mais, outre cela, il faut encore se rappeler que la couche d'Ortstein ne renferme pas seulement une proportion considérable de matières humiques, mais qu'elle a aussi emmagasiné d'importantes quantités d'autres substances, souvent toutes de nature à pouvoir être dissoutes dans la couche superficielle du sol. Il n'y a absolument aucune raison d'admettre que toutes les matières présentes ici devaient être amoncelées dans la couche sous l'influence du phénomène complexe qui est caractérisé par l'absorption du sol.

Dans les recherches précédentes, l'attention fut dirigée sur ce fait (voyez pages 212-213, 219-224) que dans les sols sableux maigres le sesquioxyde et l'oxyde de fer et l'alumine sont particulièrement les supports du pouvoir absorbant de la couche d'Ortstein et que dans les sols sableux les plus pauvres en argile, c'est principalement le fer qui a la plus grande importance ainsi que le démontrent clairement nos analyses. Pourtant Ramann dit à ce propos : « Toutefois, on ne doit pas nier qu'une valeur plus élevée doit être attribuée au fer comme moyen de précipitation. Cela doit être admis comme certain pour l'alumine[2]. » Il est cependant difficile de trouver une raison qui autorise à attribuer une plus grande importance à l'une de ces matières.

Parmi les dix profils de Ramann, les quatre profils I, II, V et X montrent un transport uniforme d'oxyde de fer et d'alumine, ou bien le premier diffère en excédent de poids (il est fait abstraction ici de l'explication de l'acide fluorique, dont la quantité doit être présente en alumine dans la forme de l'argile). Il ressort également des cinq analyses faites par Tuxen de sols sableux maigres, dans lesquels ces deux corps sont déterminés, qu'ils suivent le même transport ou que le fer est prépondérant dans l'Ortstein[3]. C'est seulement dans les

1. Comparez *Jahrb.*, p. 42., Anm.

2. *Jahrb.*, p. 44.

3. L'échantillon d'Ortstein analysé par Emmerling et Loges semble aussi provenir d'un sol plus riche en argile que celui qui se trouve ordinairement dans les landes jütlandaises, et leur Ortstein renferme à cause de cela aussi une proportion considérable d'alumine. (*Passim*, p. 82.)

sols moins pauvres ou plus riches en argile avec Ortstein que le poids de l'alumine est supérieur (tableau II). Ces deux sesquioxydes à cause de cela, en vertu des analyses précédentes, exercent une influence sur la formation d'Ortstein; mais, dans les sols sableux les plus maigres, où celle-ci apparaît le plus fréquemment, l'oxyde de fer jouera sous ce rapport le rôle prépondérant.

Le Dr Ramann écrit : « Près de la couche d'Ortstein ordinaire qui s'étend dans les différentes couches au-dessous du sol, pourtant toujours à la limite du sable de décomposition, il se trouve encore dans les landes humides une seconde forme d'*Ort*. » Cette forme, désignée par l'auteur comme « Ortstein brun inférieur » (*unterer brauner Ortstein*), « se distingue essentiellement de la forme ordinaire [1] ». Il est plus clair et se caractérise par sa ténacité et sa décomposition difficile. Emeis n'est pas tout à fait d'accord avec Ramann dans sa caractéristique de cet Ortstein brun inférieur et refuse avec raison à celui-ci la décomposition difficile que lui a attribuée Ramann. Je dois encore ajouter ici une rectification. L'Ortstein inférieur de Ramann n'est pas à vrai dire une couche particulière, mais tout à fait analogue à l'Ortstein ordinaire, ce que met en évidence l'histoire du développement des couches représentées sur le tableau III. Là où Ramann a trouvé cette couche, c'est-à-dire sur les landes humides, c'est au contraire une couche superficielle d'Ortstein noir qui s'ajoute aux autres, produite principalement par le limonage du charbon et de la poussière d'humus, comme cela est démontré page 206 et par la figure 4 du tableau III, et a donc une origine tout autre que l'*Ort* normal qui est formé surtout par précipitation et dissolution.

Plus loin, l'honorable auteur écrit [2] : « Il est ainsi prouvé qu'il existe dans l'Ortstein une création qui, bien qu'apparaissant d'une façon prépondérante dans le domaine du pays plat, peut pourtant prendre naissance dans toute contrée et toute formation, quand les conditions de l'apparition sont données. L'objection possible que ces séparations d'Ortstein n'apparaissent pas aussi sur tous les sols sa-

1. *Jahrb.*, p. 7-8.
2. *Jahrb.*, p. 48.

bleux maigres n'a pas encore reçu de réponse au temps présent. »
De cette façon très simple, le Dr Ramann rejette le résultat des observations posées dans les publications précédentes qu'il connaissait exactement et qui peuvent se résumer relativement à ce point de la façon suivante :

La question de savoir si c'est du sable plombifère ou de l'Ortstein qui se forme ou non dans une couche de terre dépend de la richesse du sol en éléments basiques et de la quantité d'acides humiques solubles formée dans la croûte terrestre. Là, l'accès de l'air est suffisant, comme dans le sol de terreau, il se forme de si petites quantités d'acides humiques solubles, que ceux-ci peuvent seulement dans les sols les plus pauvres, donner naissance à des formations de sable plombifère et d'Ortstein (Tableau III, fig. 5), et le développement sera toujours faible ici. Là où le sol est plus riche en éléments basiques, une formation d'humus tourbeux doit couvrir le sol, pour rendre possible le développement des deux couches en question.

D'autre part, l'humus tourbeux ne provoquera des formations d'Ortstein qu'exceptionnellement aux places où le sol naturel se laisse difficilement dépouiller de ses éléments basiques. On a cité deux cas de ce genre en Danemark et on peut ajouter ici que la couverture tourbeuse, dont souvent est revêtue la superficie des hautes montagnes sous une végétation d'azalées, dans les Alpes calcaires du Nord, dont le sol de décomposition est une marne riche en calcaire, n'occasionne, aussi loin que portent mes observations, aucune formation d'Ortstein. Que, d'un autre côté, de l'Ortstein puisse prendre naissance dans un sol très maigre sans humus tourbeux, j'ai eu l'occasion de l'observer dans les forêts de pin maritime dans les landes au Sud de Bordeaux. Là se trouvent, comme on sait, des formations d'Ortstein et à la vérité par places sur des espaces où le riche déchet d'aiguilles des pins est si rapidement détruit sur la terre, en été, sous l'influence du climat du Sud, que l'on marche, là où le sol est dépourvu de végétation, dans une forêt fermée, sur du sol sableux presque nu.

Mais, maintenant, sur quoi le Dr Ramann base-t-il sa conclusion que les formations d'Ortstein ne peuvent pas exister seulement sur

les pays plats, mais « dans toute région et toute formation » ? De ses 10 profils, 9 proviennent de tourbières (*Schwemmlande*) de l'Allemagne du Nord et 1 seulement du grès sableux de Bohême, et les 10 analyses concernent toutes des sols sableux maigres, alors que seulement pour le profil IV il est dit que le sous-sol est « du sable faiblement argileux » ; la conclusion qu'il tire ne peut évidemment s'appuyer sur ce matériel.

Dans les deux précédentes publications il a été cependant démontré en passant que des formations d'Ortstein peuvent exister tout aussi bien dans un sol limoneux et un sol argileux que dans le sable et j'ajoute encore à cela quelques nouvelles observations sur l'existence de l'Humusortstein sur du sol de décomposition réel et dans des couches d'argile presque plastique.

Les parties élevées de la forêt de Böhmer dans la région de la Moldavie supérieure, sont recouvertes d'épaisses forêts, principalement de sapins ordinaires (blancs) et d'épicéas ; ces peuplements ont à plusieurs places conservé en partie le caractère de l'ancienne forêt, parce que d'anciens troncs gisent étendus sur le sol et contribuent à enrichir la superficie en humus. Tandis que dans les parties plus basses, où prédominent surtout les hêtres et les sapins blancs ordinaires, on trouve le sol riche en terreau. Comme dans nos bonnes forêts, ce sol est recouvert, dans ces régions plus élevées, d'une couche tourbeuse, correspondant à la tourbe de hêtres dans les forêts danoises et à la tourbe de landes des plaines profondes du Nord de l'Europe. Sous cette couche, qui atteint souvent une puissance de plusieurs pouces, se trouve, par exemple aux environs du lac de Blöckenstein, le grès de décomposition à angles aigus du granit pauvre en feldspath décoloré tout à fait de la même façon que le sable plombifère, et sous celui-ci les matières humiques se sont déposées dans les couches d'argile limonée (*hinabgeschlämmte Thonschichte*) en des formations d'Ortstein souvent puissantes.

Le Riesengebirge, cette région bien connue de tous les Allemands du Nord, offre tout à fait les mêmes conditions. Quand, partant de Hermsdorf, on monte vers le Schneekoppe, en traversant les forêts étendues qui recouvrent le penchant Nord de la montagne, on trouve

tout en bas un terreau pauvre, çà et là entrecoupé par une formation de tourbe claire, faible, d'environ 1 pouce (0m,0261) de puissance. Mais plus on monte et plus les formations de tourbe deviennent générales, et près des *Korallensteine* (pierres de corail) se trouve déjà la tourbe ferme et sombre d'une puissance de plusieurs pouces; le granit riche en feldspath qui se trouve sous celle-ci a tout à fait le même aspect que sur les parties plus hautes de la forêt de Böhmer. Des couches de sable plombifère puissantes, consistant en grès de décomposition à angles aigus du granit, sont déposées sur des couches de coloration intense d'Humusortstein. Ces formations accompagnent le voyageur sur l'étendue entière à travers la forêt d'épicéas toujours plus claire et de moindre croissance jusqu'à la crête nue.

Sur les hautes montagnes de Norvège, j'ai eu l'occasion de faire des observations encore plus intéressantes sur l'étendue entre Drontheim et le lieu suédois *Oestersund* (détroit d'Œster) où la roche silurienne prédominante occasionne par sa décomposition la formation de sols fertiles avec de beaux pâturages, qui sont en général recouverts de terreau et brillent dans la plus splendide flore des hautes montagnes. Là où, sur ce sol fertile, se trouve çà et là de l'argile plastique qui ne se laisse traverser par l'eau que très lentement et à cause de cela, donne occasion à la transformation en marais (*Versumpfung*), ou bien où la superficie est recouverte d'une couche tourbeuse, soit encore là où se trouvent des amoncellements de sable maigre et de grès, la superficie est recouverte d'une couche tourbeuse sous laquelle existent à la façon ordinaire du sable plombifère et d'Ortstein, tandis qu'on ne peut trouver aucune trace de ces couches sur les champs d'herbes luxuriantes, recouverts de terreau. Je donne ici le dessus d'un profil, prélevé au voisinage de la station de chemin de fer Storlien (environ 600 mètres Mh.), placée à la limite de la forêt, où des bouleaux bas et rabougris dans un peuplement clair forment les avant-postes extérieurs de la végétation forestière jusqu'aux montagnes élevées privées d'arbres. Tout en haut se trouve la couche de tourbe de 16 pouces (0m,4284) ; dessous argile lavée, presque blanche, de 4-5 pouces (0m,1046-0m,1307), qui est aussi observée en Danemark sur des sols analogues (Voyez Profil IX, page 33). Au-

dessous se trouve de l'argile riche en humus, noir brun, de 3-4 pouces (0^m,078 à 0^m,1046), qui peu à peu passe à une argile presque plastique, grise, de 5 à 6 pouces (0^m,1307-0^m,1569), qui à son tour est séparée par une couche de pierres de la grosseur d'un haricot, de 5 à 6 pouces (0^m,1307-0^m,1569) de l'argile plastique également grise du sous-sol. Ce profil est particulièrement instructif, parce qu'il fournit la démonstration immédiate de la façon dont a progressé le lavage. La limite supérieure entre l'argile et la couche pierreuse est recouverte d'une écorce de fer ocreux de plusieurs millimètres[1] ; ce fer est celui de l'argile blanche que l'eau en s'infiltrant a extrait sous forme de sel d'oxydule de fer soluble, n'a pas été absorbé par l'argile sous-jacente plus riche en bases plus puissantes, mais enfin a été *poussé* par l'air atmosphérique sur le bas de cette dernière dans la couche pierreuse, et transformé par lui en hydrate d'oxyde de fer. A une distance de quelques centaines d'*ellen* (ellen = 13^m,81) de ce profil, se trouvait un banc de pyrite, dont le profil a 1 pied de profondeur (0^m,3138), offrant tout à fait le même aspect que celui de la figure 1, page 30. Sous une tourbe de 3 pouces (0^m,0784) se trouvait du sable plombifère de 3 à 4 pouces (0^m,0784-0^m,1046) et dessous, une couche aussi puissante d'Humusortstein.

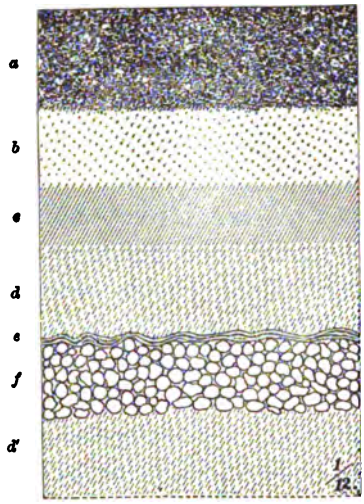


Fig. 16. — *a* couche de tourbe; *b* argile blanc grisâtre ; *c* argile brun noir, riche en humus; *d* et *d'* argile plastique gris bleu; *e* couche irrégulière dure et compacte, consistant principalement en ocre ferrugineux ; *f* couche de cailloux roulés.

Le sable fin, maigre, qui forme les dunes de sable merveilleuses de Röros, déposées sur un plateau élevé à 1,800 pieds (environ 565 m.) au-dessus de la mer, accompagne avec des variantes différentes le voyageur qui descend à travers l' « Oesterdal », boisé et long d'environ 250 kilomètres, jusqu'à Elverum et, sur ces parties de

1. La figure 16 montre la couche d'ocre un peu trop épaisse.

sable montagneuses, le sable plombifère et l'Ortstein ont dans le sol une extension extraordinaire. Pourtant, dans les forêts sur sol élevé et sec, la couche de tourbe qui couvre le sol, aussi bien que les couches sous-jacentes, est faiblement développée ; je n'ai trouvé ici l'Ortstein que sous la forme de terre rouge *terreuse* et facilement émiettable, quoiqu'il existe vraisemblablement sur des plus humides avec une puissance et une dureté plus grandes.

Si l'on se représente la grande extension de l'humus tourbeux, non pas seulement sur les montagnes élevées de l'Europe méridionale et septentrionale, mais notamment sur les Tundras qui occupent le Nord des limites de la forêt des régions arctiques sur des étendues incommensurables, alors, après que l'existence des formations d'Ortstein sous l'humus tourbeux dans toutes les régions subalpines a été démontrée, se pose la question suivante qui mériterait bien une recherche : les formations d'Ortstein de la terre les plus étendues ne devaient pas se trouver sur des emplacements de ce genre. Le professeur Warming a livré une très intéressante contribution pour la façon d'interpréter le caractère de la croûte terrestre sous un climat arctique et d'après ses observations le sol de lande dans le Grœnland est recouvert d'une courche tourbeuse, tandis qu'au contraire les broussailles du pâturage (*Weidengebüsche*) basses et épaisses des meilleurs sols croissent même dans le Grœnland central sur une croûte supérieure (*Oberkruste*) meuble, en forme de terreau, habitée par les vers de terre. Si l'opinion avait besoin de confirmation en raison de la grande extension des formations d'Ortstein dans les régions arctiques, alors la vue exprimée à ce sujet page 294 trouverait un plus fort appui, c'est-à-dire que la formation de lande sur les plaines de landes maigres et uniformes du Jütland avec leurs couches puissantes de sable plombifère et d'Ortstein, est à ramener à l'époque glaciale. Certes il paraîtra tout aussi admissible que ces couches, qui se montrent ici beaucoup plus puissantes que les landes montagneuses, ont été produites justement en grande partie par la végétation de l'époque postglaciale, qui a laissé aussi derrière elle, en d'autres endroits, son résidu dans notre sol.

ÉCLAIRCISEMENT DES TABLEAUX

TABLEAU I.

Analyses de terre forestière avec terreau de hêtres. Taux pour cent des différentes matières à une profondeur inégale du sol. Trois Profils décrits pages 123-126.

TABLEAU II.

Analyses de terre forestière avec tourbe de hêtres. Taux pour cent des différentes matières à une profondeur inégale du sol. Cinq Profils décrits pages 131-133.

TABLEAU III.

Fig. 1. — Sol sableux en forme de terreau avec passage successif entre la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*) (*a*) couleur d'humus et le sous-sol (*Untergrund*) (*c*) couleur d'ocre, sans développement de *Thonortstein* et sans aucune trace de formation d'*Humusortstein* à son début. Ce Profil donne une image des meilleures parties dans les forêts de chênes et les broussailles (*Gebüsche*) jütlandaises sur le sable d'alluvion pauvre en argile.

Fig. 2. — Sol sableux en forme de terreau avec une faible couche d'*Humusortstein* (*b*) à son début dans la couche la plus superficielle du sous-sol; Profil XIX décrit page 237. Ce Profil donne une image du caractère ordinaire des bonnes parties dans les forêts de chênes et les broussailles jütlandaises, sur le sable d'alluvion pauvre en argile.

Fig. 3. — Formation de lande récente, sans couche de tourbe nettement exprimée, mais, avec une formation évidente d'Ortstein tourbeux et de *Humusortstein* à son début; Profil XXI décrit p. 161.

Fig. 4. — Ancienne formation de lande, avec un fort développement d'Ortstein tourbeux et de *Humusortstein*; Profil XXII décrit page 162. Ce Profil donne une image du sol sur les parties plus humides des anciennes formations de landes.

Fig. 5. — Terreau de broussailles (*Gebüsch-Mull*), mouvant avec la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*) analogue au sable plombifère; Profil XX, décrit page 149.

Fig. 6. — Le sol dans une ancienne étendue de sable mouvant couverte. Tout en haut formation de tourbe récente avec sable plombifère et Ortstein, dans le sable amoncelé par le vent; au-dessous, des restes de la croûte de lande couverte avec d'ancien sable plombifère et de l'*Humusortstein*. Sables de Birckebäk; voyez page 247.

Fig. 7. — Le même sol dans le même emplacement; la couche tout entière de sable amoncelé est dépouillée de son oxyde de fer.

Fig. 8. — Sol avec partie supérieure du sous-sol (*Obergrund*) (*b*) en forme de terreau; avec du Thonortstein et des *gros morceaux* (Knollen) (β) gisant au haut et un sous-sol argileux (γ). Sol de lehm à fond plat dans la forêt de Sofie-Amaliegard dans le Jütland. Voyez page 241.

TABLEAU IV.

Fig. 1. — Représentation des transports de l'oxyde de fer et de l'argile à une profondeur variant de 0 à 40 pouces (1m,046) en forme de terreau et dans le sol argileux recouvert de tourbe avec peuplement de hêtres. La quantité de ces deux corps à une profondeur de 40 pouces (1m,046) est posée = 100, et la quantité de ces mêmes matières dans les autres couches est exprimée par rapport à ce nombre. Nombres moyens d'une série de déterminations.

Fig. 2. — Représentation du transport de l'oxyde de fer et de l'argile à une profondeur variant de 0 à 40 pouces (1m,046) dans du sol sableux en forme de terreau et du sol sableux recouvert de tourbe du Jütland occidental, le premier recouvert d'une forêt de chênes et de broussailles, le dernier de bruyère. Toutes les données sont exprimées en rapport avec la quantité de ces deux corps qui se trouvait à une profondeur de 40 pouces (1m,046) dans le sol de lehm représenté par la figure 1. Nombres moyens d'une série de déterminations; mais pour quelques-uns d'entre eux les données citées sont calculées, parce qu'il n'existait qu'une seule détermination quantitative du total de l'oxyde de fer et de l'alumine; l'alumine est calculée d'après un taux pour cent moyen, trouvé par une série d'analyses dans des emplacements tout à fait analogues, et que cette matière représentait dans la somme des deux.

TABLEAU V.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine dans le sable plombifère, Humusortstein et sous-sol dans les quatre différents pays de landes et de forêts recouverts de tourbe dont les noms suivent : Profil XV, Strandskov, décrit page 327. Profil XVI, Söllerød Kirkeshov, décrit page 328. Profil XVII, Forêt près Silkeborg, décrite page 329, et Profil XVIII, Lande près Herning, décrite page 330.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité phosphorique absorbée d'une dissolution de 100cc et par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres provenant des mêmes échantillons.

TABLEAU VI.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine (ensemble) dans du bon terreau de broussailles (*Gebüchsmull*) [Profil XIX, Tableau III, Fig. 2], dans du

terreau de broussailles analogue au sable plombifère (Profil XX, Tableau IV, Fig. 5), dans une jeune lande (Profil XXI, Tableau III, Fig. 3) et dans une ancienne lande (Profil XXXII, Tableau III, Fig. 4), dans la couche supérieure du sous-sol (*Obergrund*), *Humusortstein* et dans le sous-sol exempt d'Ortstein.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité d'acide phosphorique absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

TABLEAU VII.

Fig. 1. — Taux pour cent d'oxyde de fer et d'alumine à différentes profondeurs dans un sol forestier en forme de terreau et un sol argileux peuplé de hêtres dans les trois emplacements suivants : Profil XII, Gelsskov, décrit page 325; Profil XIII, Gelsskov, décrit page 326; Profil XIV, Store Hareskov, décrit pages 326-327.

Fig. 2. — Taux pour cent de matière organique et d'argile dans les mêmes échantillons de terre.

Fig. 3. — Donnée de la quantité d'acide phosphorique, absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

Fig. 4. — Donnée de la quantité d'ammoniaque, absorbée d'une dissolution de 100 centimètres cubes par 100 grammes de terre exempte de pierres, provenant des mêmes échantillons.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

INTRODUCTION. 9

I. — *Les formes d'humus dans les sols siliceux et argileux des forêts de hêtres.* 1878 12

OBSERVATIONS :

Terreau de hêtres. — Plantes caractéristiques. — Aspect du sol. — Analyse microscopique et mécanique. — Analyse chimique. — État du hêtre sur le terreau. — Autres organismes 14

Tourbe de hêtres. — Plantes caractéristiques. — Aspect du sol. — Analyse microscopique et mécanique. — Analyse chimique. — État du hêtre sur la tourbe. — Autres organismes. 28

Formations de passage. — Tourbe-terreau. — Tourbe sans masse de racines. — Tourbe mousseuse. — Dépôts humiques mélangés. 45

Développement et existence. 52

La transformation du terreau et de la tourbe. — Passage du terreau à la tourbe. — Les métamorphoses de la tourbe. 54

Comparaison entre la tourbe de hêtres et la tourbe de bruyères. 60

DISCUSSION :

Des différentes formes d'humus. — La division mécanique des restes organiques. — La forme de l'humus. 64

Sur les différences que présente la couche supérieure du sol. — La couche supérieure du sol sous le terreau. — La couche supérieure du sol sous la tourbe 76

L'influence de la vie organique sur la nature du sol dans les forêts de hêtres. 89

De l'importance de la forme de l'humus au point de vue de la géographie végétale 92

Sur la terre arable et la terre de forêt. 98

APPLICATION :

Sur l'examen des sols. 104

Sur les soins à donner au sol dans la forêt 106

Sur le choix de l'espèce d'arbre. 109

Pages.

Quelques recherches chimiques sur le sol des forêts de hêtres, par C. F. A. TUXEN 111

Sur les éléments humiques. — De la quantité d'acide humique contenue dans les différentes couches de terre. — Le lien dans les couches de terre fermes. — La méthode de classification du Dr Schütze 112

Les parties constitutives des différentes sortes de sols et les éléments solubles dans l'acide chlorhydrique. — Sols de terreau dans les forêts de hêtres. — Sols recouverts de tourbe dans les forêts de hêtres. — Sols recouverts de tourbe, portant une végétation de bruyères. 120

II. — *Les formes de l'humus dans les forêts de chênes et les landes.* 1884. 134

OBSERVATIONS :

La forêt de chênes. — Les forêts de chênes sur sol argileux. — La forêt de chênes sur sable de lande maigre du Jütland. — La forêt de chênes en décadence. 135

Le sol des forêts de chênes. — Le terreau de la forêt de chênes sur sol argileux. — Le terreau de la forêt de chênes sur sol sableux. — Formations de tourbe dans les forêts de chênes. 145

Le sol des landes. — Le sol de landes recouvert de tourbe. — Le sol des landes en forme de terreau. — Le passage du sol de terreau au sol de tourbe dans les landes. — Sol de landes recouvert de tourbe, sans sable plombifère, ni formations d'Ortstein. 153

Observations sur les sols sous d'autres formes de végétation. — Le sol dans les forêts de hêtres. — La forme d'humus dans les forêts d'épicéas. — Tourbe et terreau dans les prairies salées. — Le sous-sol sous les marais tourbeux. — Sable plombifère et formations d'Ortstein dans les forêts transformées en marais, avec sol sableux. 167

L'influence de la vie organique sur le sol. — Les plantes. — Les animaux. 176

Transformations physiques et chimiques du sol. — Consistance du sol. — Conditions d'humidité du sol. — Limonage de la croûte du sol. — Lavage de la croûte du sol. — Absorption. 193

Différences dans le gisement et la nature de l'Ortstein. 225

Orstein comme formation de concrétion et fer limoneux. 237

Rapidité de la formation de landes 244

Coup d'œil rétrospectif. — Variétés des couches de terre humiques. — Influence de la forme d'humus sur le sol. — Action de retour de la forme d'humus sur la végétation. — Formation de lande. 252

DISCUSSION :

Formation de lande. — Caractère du sol de lande. — Formation du sol de lande. — Cause de la formation des landes. 269

Importance des vers de terre pour la formation de l'humus. 296

APPLICATION :

Travail du sol. 312

Création des peuplements 320

Quelques recherches chimiques et physiques sur le sol des forêts et des landes, par C. F. A. TUXEN. 323

Sol forestier en forme de terreau et argileux. — Sol forestier argileux

Pages.

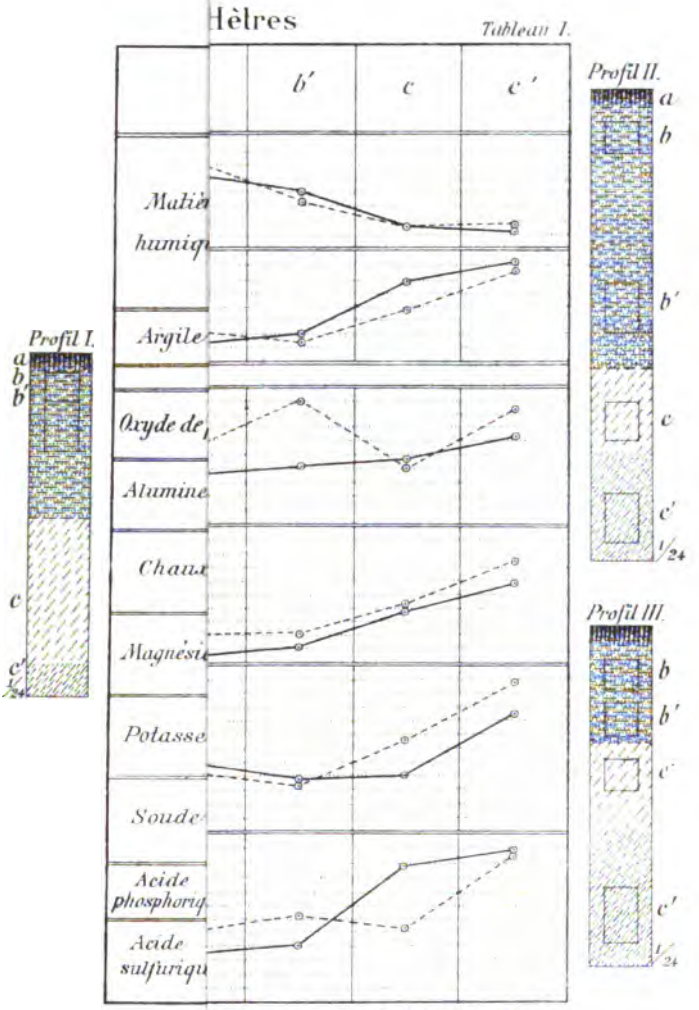
recouvert de tourbe. — Sol forestier sableux recouvert de tourbe. — Sol de landes recouvert de tourbe. — Recherches comparatives sur le sol dans les broussailles de chênes et les landes, près Viborg. 325

III. — APPENDICE. 1887 336

Éclaircissement des tableaux 346

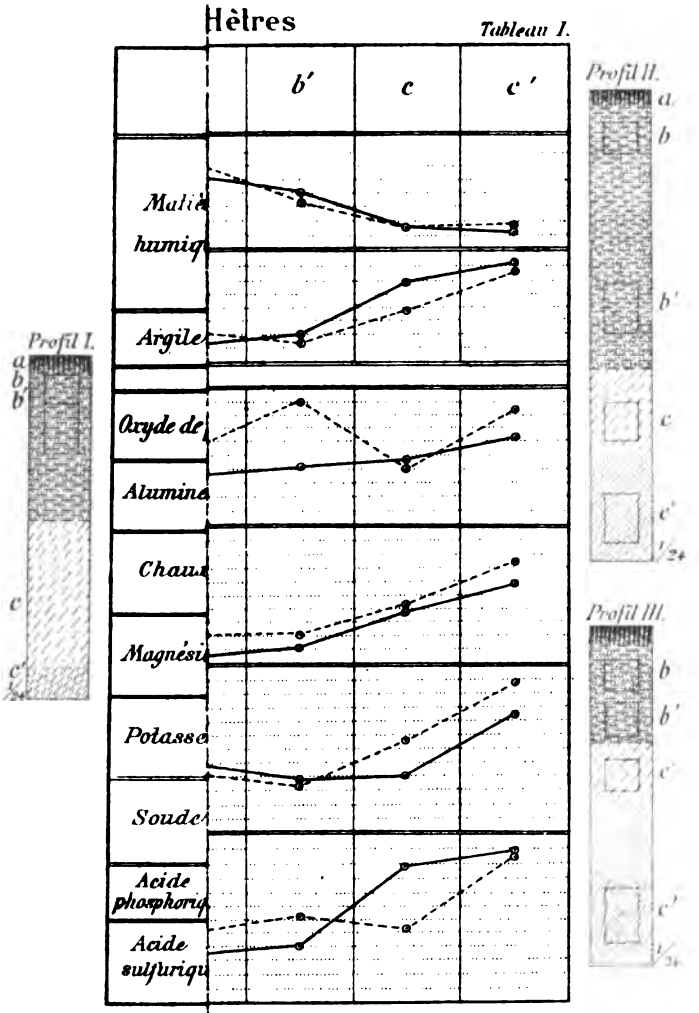
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

Nancy, impr. Berger-Levrault et Cie.



I. Hegn. — Profil III. Geel Skov.

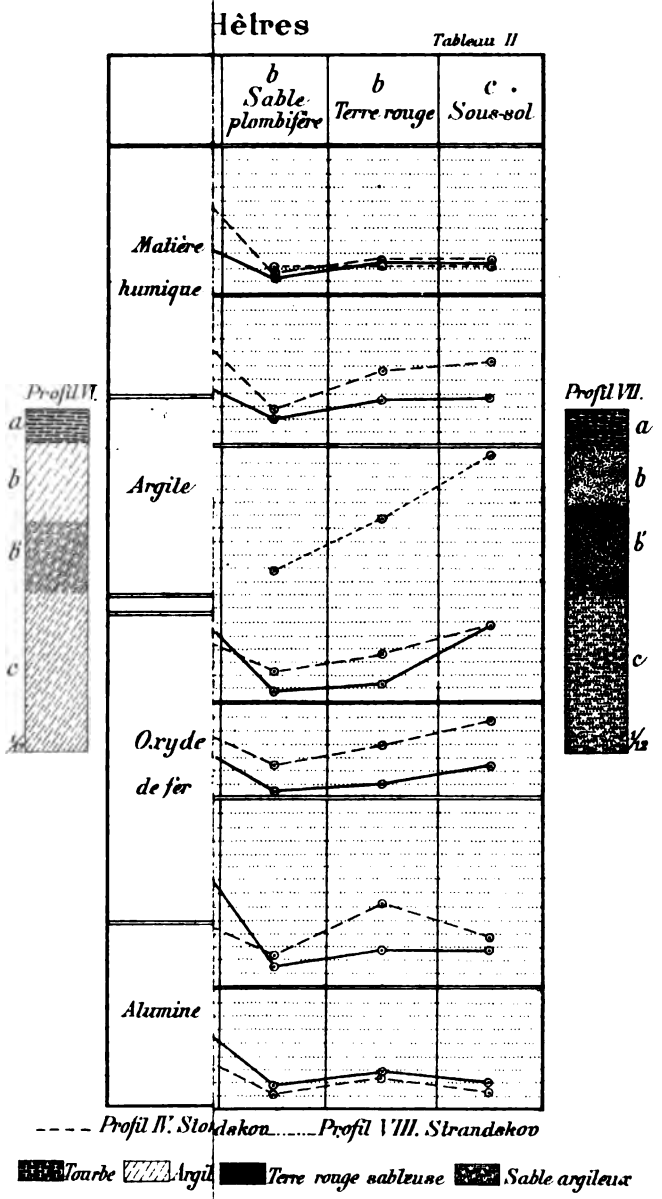
a. Terre sableuse gris-blanc. Argile sableuse.



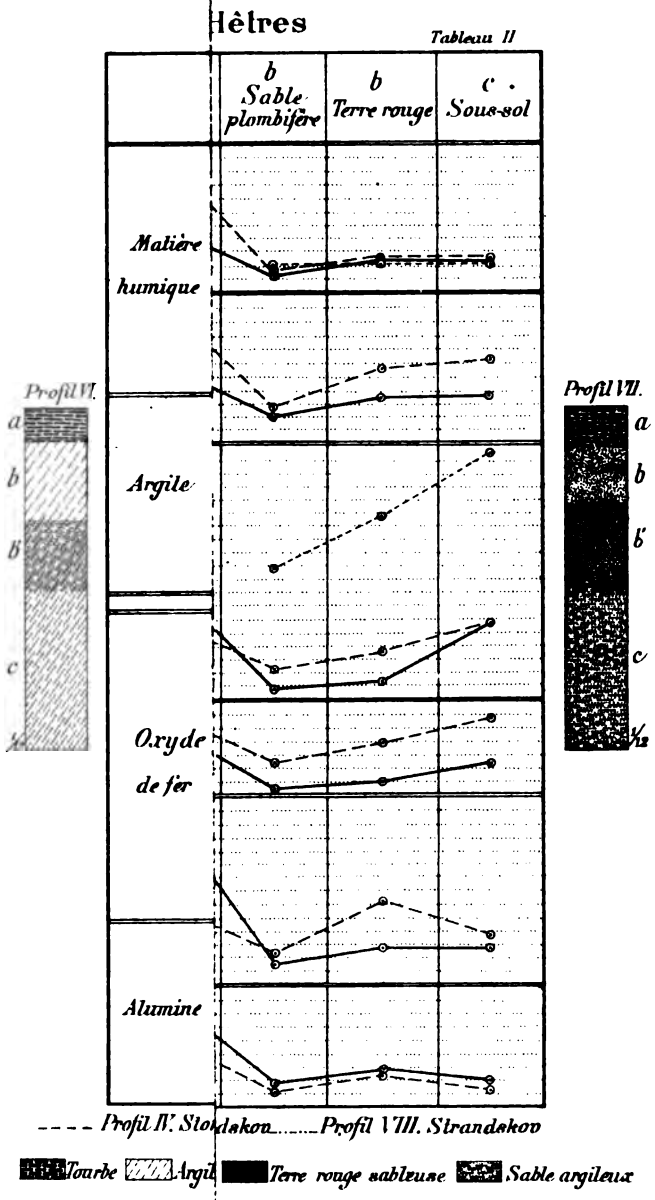
1 Hegn. — Profil III. Geel Shov.

a. Terre ableuse gris-blanc Argile sableuse

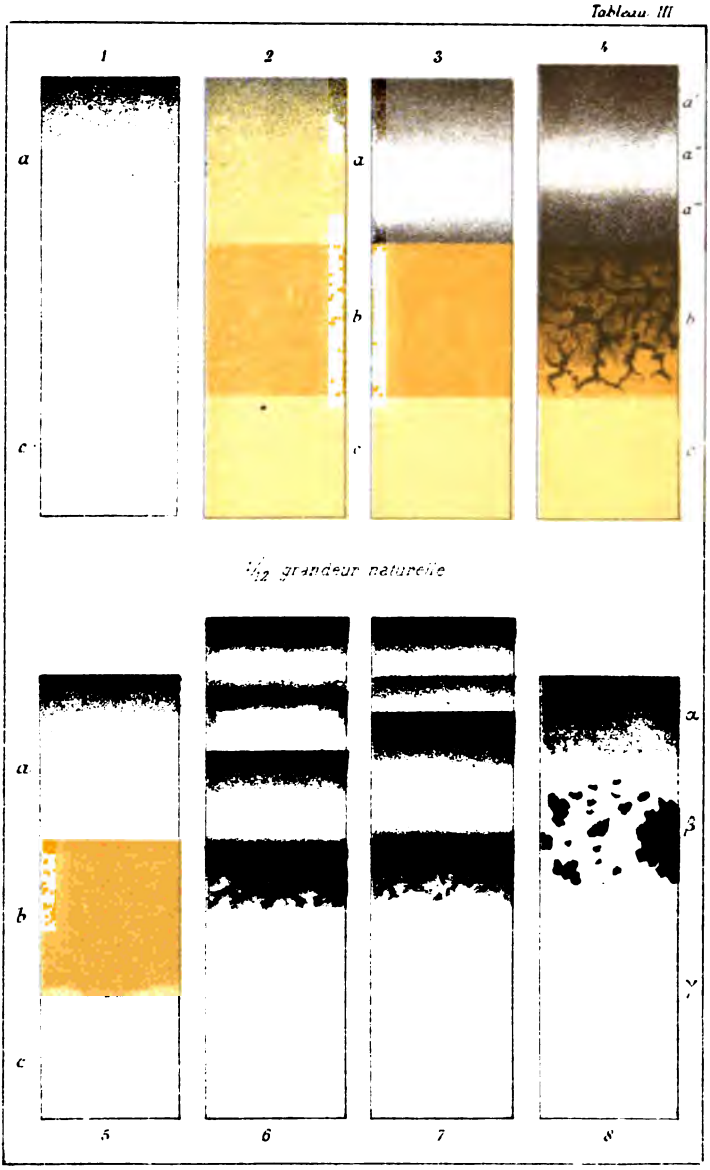
PEESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
CALIFORNIA


Hêtres
Tableau II
b Sable plombifère
b Terre rouge
c Sous-sol
Matière humique
Argile
Oxyde de fer
Alumine
Profil VI.
a
b
b'
c
Profil VII.
a
b
b'
c
Profil II. Stordekov
Profil VIII. Strandekov
Tourbe
Argil
Terre rouge sableuse
Sable argileux

REESE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
CALIFORNIA


Hêtres
Tableau II
b
Sable
plombifère
b
Terre rouge
c
Sous-sol
Matière
humique
Argile
Oxyde
de fer
Alumine
Profil VI.
a
b
b'
c
1/12
Profil VII.
a
b
b'
c
1/12
---- Profil IV. Stokdskov ..... Profil VIII. Strandskov
Tourbe
Argil
Terre rouge sableuse
Sable argileux

RY
ITY
FORNIA

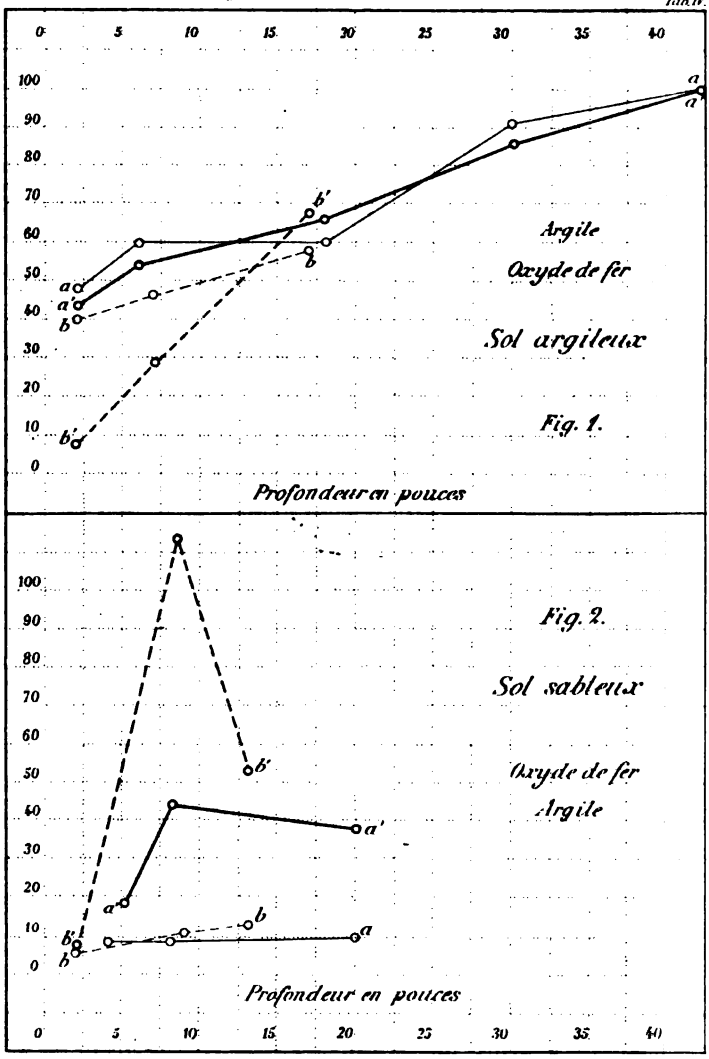


Lith. Lorgeot & Verneau à St Denis

LIBRARY
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA.

Transport de l'argile et de l'oxyde de fer dans les sols forestiers.

Tab. IV.

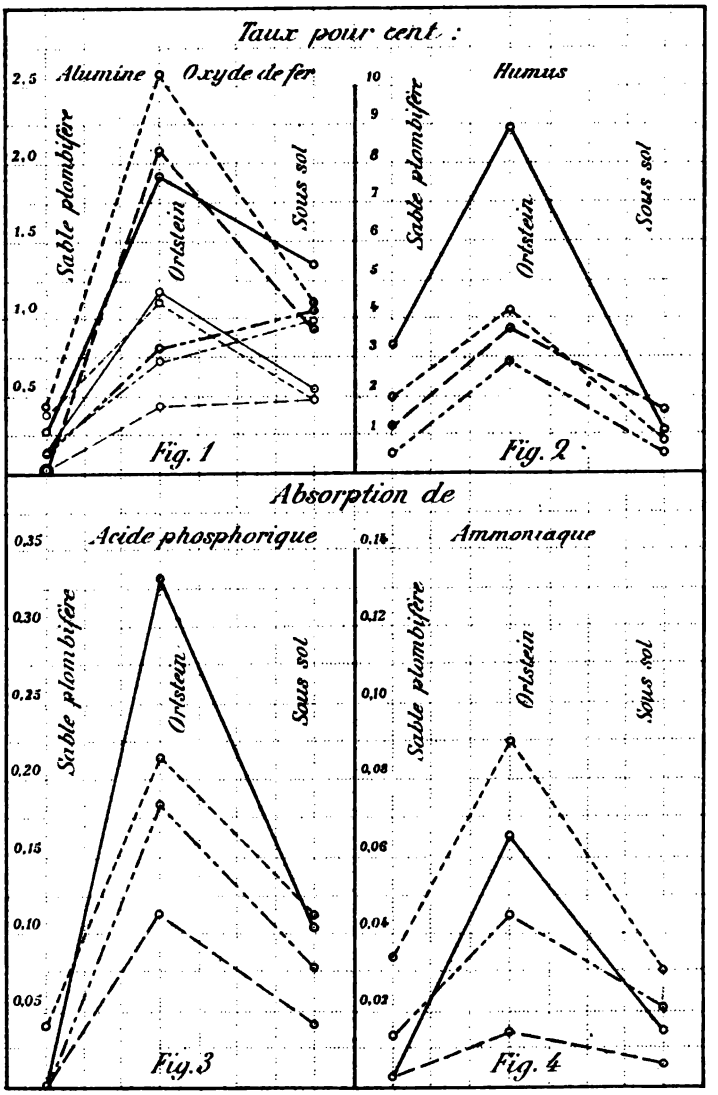


Sols de terreau — Sols tourbeux

Quantité moyenne d'argile et d'oxyde de fer à différentes profondeurs.

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF CALIFORNIA.

Le sol recouvert de tourbe. Tabl. V.



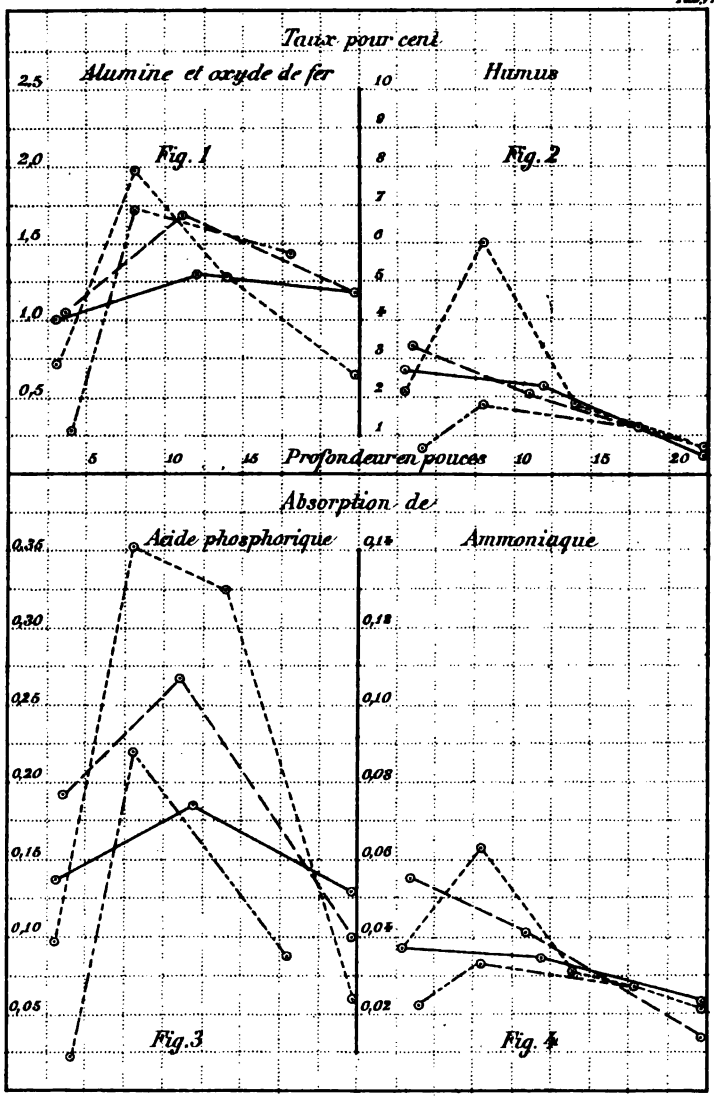
——— Lande près Herning — — — Forêt près Silleborg

- - - - Strandskov ------ Sölleröd Kirkeskov

RNIA.

Le sol dans les boqueteaux de chênes et la lande près Viborg.

Tab. VI



——— Bon terreau.
– – – – Sable plombifère avec terreau.
– – – – Jeune lande.
- - - - - Vieille lande.

UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

LIBRARY
UNIVERSITY
CALIFORNIA

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

NOV 27 1931

JUN 23 1953

JUN 25 1953 LU

29Jul'53LU

JUL 29 1953 LU

75m-7,'30

YC 65766

43770
S533
M82

UNIVERSITY OF CALIFORNIA LIBRARY,
BERKELEY

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

Books not returned on time are subject to a fine of 50c per volume after the third day overdue, increasing to $1.00 per volume after the sixth day. Books not in demand may be renewed if application is made before expiration of loan period.

NOV 27 1931

JUN 23 1953

JUN 25 1953 LU

29Jul'53LU

JUL 29 1953 LU

75m-7,'30

YC 65766

43770
S533
M82